

沖縄における下水処理水の農業利用の研究

著者	山下 正
雑誌名	農村工学研究所報告
巻	50
ページ	103-134
発行年	2011-02-01
URL	http://doi.org/10.24514/00002221

doi: 10.24514/00002221

沖縄における下水処理水の農業利用の研究

山下 正*

目 次

I 緒 言	103	4 バイパス案	118
1 研究の背景と目的	103	5 管更生案とバイパス案の比較	120
2 本論文の構成と内容	104	6 塩分低下対策の指針	120
II 下水処理水を再生水として利用することの 意義と状況	105	7 塩水地下水浸入区間長の推定手法	120
1 下水処理水を再生水として利用することの 意義	105	V 農業外の管理施設の形状を農業側が変更 するための制度	121
2 再生水利用の状況	106	1 検討の目的と方法	121
III 島尻地区下水処理水利用計画	107	2 河川管理施設の形状を変更した事例	121
1 島尻地区の概要	107	3 バイパス案の工事のための制度の検討	122
2 再生水利用の可能性	108	4 農業外の管理施設の形状を農業側が変更 するための制度の検討手順	123
3 再生水の水質管理指標	109	VI 高塩分時に対応する営農方法と再生水製造 プラントの管理	124
4 島尻地区基本構想	109	1 高塩分時に対応する営農方法	124
5 下水管への塩水地下水浸入対策	111	2 再生水製造プラントの管理	129
IV 下水の塩分低下対策	111	VII 結 言	131
1 調査地	111	参考文献	133
2 幹線下水管の塩化物イオン濃度と流量の 測定	112	Summary	135
3 管更生案	114		

I 緒 言

1 研究の背景と目的

a 研究の背景

下水処理水を再生水として利用することの意義としては、①安定的な水利用への貢献、②公共用水域の水質改善等への寄与、③地球温暖化による気候変動への緩和策としての効果、④うるおいのあるまちづくりへの貢献、等が挙げられる。なお、ここで言う再生水とは、下水処理水を再利用する目的で処理した水のことであり（下水処理水の再利用のあり方を考える懇談会、2008）。

ところで、海外の再生水利用の状況については、一般的に降水量の少ない地域で利用されており（下水処理水の再利用のあり方を考える懇談会、2009）、その多くは

農業用水である（田中、2008）。例えば米国カリフォルニア州では再生水の5割程度が農業用水として利用されており、農業用水を用途に含む再生水の水質基準も制定されている（山縣、2008）。

他方、我が国の下水処理水の再利用率は低く、環境用水が主な用途であり（下水処理水の再利用のあり方を考える懇談会、2009）、農業用水としての利用は僅かである（田中、2008）。その理由としては、下水処理水の再利用水質基準等マニュアルに農業用水が用途として含まれていないこと（南山、2008）が考えられる。また、多度津町（田坂、2007）や熊本市（環境省地球温暖化影響適応策研究委員会、2008）等で農業利用が行われているが、再生水が直接人の口に入らない水稻中心の利用であり（田中と浅野、2006）、生食用野菜等に利用することを主目的としている事例は見当たらない。

一般的に島嶼部は水が不足する場合が多く、沖縄本島南部に位置する島尻地区では、サトウキビや生食用野菜等の栽培のために農業用水が必要である。十分な農業用水が確保できれば、サトウキビの反収を上げることや、

* 農林水産省農村振興局整備部水資源課政策情報分析官
（農工研在職時の最終所属：農地・水資源部 用水管理研究室長）
平成22年12月15日受理
キーワード：農業用水、下水処理水、下水管、塩水地下水、塩化物イオン濃度

施設野菜等を増やすことが可能となる。しかしながら、利用できる河川や地下ダム適地が無いため、島尻地区の近くにある那覇処理区の下水処理水を再生し農業用水として利用することが検討されている。生食用野菜を含む作物への利用を主目的とするのは我が国で最初である(仲村ら, 2009)。具体的には、日最大6万 m^3 の再生水を1,550haの畑地に供給することが検討されている。

島尻地区では、下水処理水の再生について再生水実証プラント等が設置され海外の基準が適用できるか試験・検討されており(中里ら, 2008)、これまでに、再生水の人への安全性に問題が無いことが確認され(仲間ら, 2005)、再生水製造プラントの処理工程が概定された(仲村ら, 2009)。

しかしながら、利用しようとしている那覇処理区の下水処理水は、海に面した地盤標高の低い埋め立て地からの排水を含み、この地域の海面下に敷設された下水管の破損部分からの塩水地下水浸入により塩化物イオン濃度が高く、現状のままでは農業用水として使うことができない。農業用水として使うためには、作付けする作物の生育に支障の無い200mg/L以下に下水処理水の塩化物イオン濃度を下げる必要があるが、海外にも塩化物イオン濃度を下げるための基準や適当な事例は見当たらない。これらのことが事業計画案の作成上解決すべき大きな課題となっていた。

b 研究の目的

島尻地区の下水利用の基本構想は既に作成されており、現在は事業計画案作成の段階である(Fig.1)。本研究の目的は、事業計画案作成を視野に、下水処理水の塩化物イオン濃度を下げて農業用水として利用するために、新たに那覇処理区の下水管への塩水地下水浸入対策を明らかにするものである。即ち栽培にできるだけ支障の無い程度に下水処理水の塩化物イオン濃度を下げる下水の塩分低下対策を技術的、制度的に検討するとともに、一度低下した塩化物イオン濃度が下水管の破損で再び上昇する場合に必要な高塩分時に対応する営農方

法や、再生水を製造する再生水製造プラントの管理を検討する。また、これらの結果を踏まえ、今後再生水を農業利用する場合に一般的に利用できる指針や手法等をまとめる。

まず、下水の塩分低下対策については、下水の塩化物イオン濃度と流量を測定し、下水管の更生を行い塩水地下水浸入を防ぐ管更生案と、排水経路の変更を行い塩化物イオン濃度が低い下水のみを集めて処理するバイパス案を比較検討する。また、この結果を踏まえ、下水の塩分低下対策の指針や塩水地下水浸入区間長の推定手法をまとめる。また、河川管理施設の形状変更を土地改良事業で行った事例を参考に、関係法令の分析等を行い、下水の塩分低下対策のための制度の検討を行う。また、この結果を踏まえ、農業外の管理施設の形状を農業側が変更するための制度の検討手順をまとめる。

次に、高塩分時に対応する営農方法については、塩水生育試験を行い、塩化物イオン濃度の低下目標を確認するとともに、栽培上の留意点、除塩対策及び下水処理水の取水方法の検討を行う。また、この結果を踏まえ、高塩分時に対応する営農方法の指針をまとめる。さらに、再生水製造プラントの管理については、類似の施設の管理等を参考に、通常時と塩分上昇時等について検討する。

2 本論文の構成と内容

本論文では、本章で研究の背景と目的を述べた後、以下の項目から構成される。

- II 下水処理水を再生水として利用することの意義と状況
- III 島尻地区下水処理水利用計画
- IV 下水の塩分低下対策
- V 農業外の管理施設の形状を農業側が変更するための制度
- VI 高塩分時に対応する営農方法と再生水製造プラントの管理
- VII 結言

以下に、各章の概要を述べる。

IIでは、下水処理水を再生水として利用することの意義と、海外及び我が国の再生水利用の状況についてまとめ、本研究の背景等を明らかにする。

IIIでは、島尻地区下水処理水利用計画について、島尻地区の概要、再生水利用の可能性と再生水の水質管理指標の検討状況、島尻地区基本構想を示すとともに、下水管への塩水地下水浸入対策の研究の趣旨を明らかにする。

IVでは、下水の塩分低下対策について、塩化物イオン濃度等の測定を行い、管更生案とバイパス案を比較検討するとともに、塩分低下対策の指針と塩水地下水浸入区間長の推定手法をまとめる。

Vでは、農業外の管理施設の形状を農業側が変更するための制度について、河川管理施設の形状を農業側が変

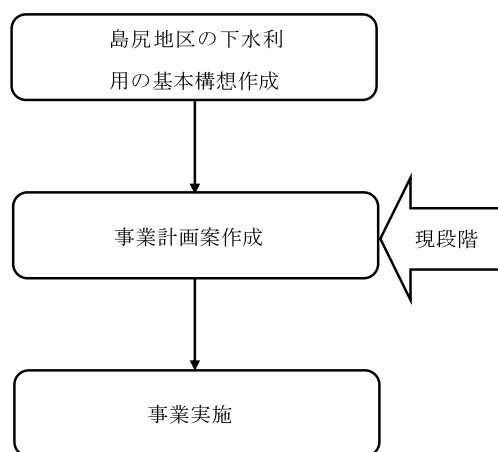


Fig.1 島尻地区の事業化の手順

Process toward project implementation of the Shimajiri District

更した事例を分析し、バイパス案の工事のための制度の検討を行うとともに、農業外の管理施設の形状を農業側が変更するための制度の検討手順をまとめる。

Ⅵでは、高塩分時に対応する営農方法について、塩水生育試験を行い、栽培上の留意点、除塩対策及び下水処理水の取水方法を検討するとともに、高塩分時に対応する営農方法の指針をまとめる。また、再生水製造プラントの管理について、通常時と塩分上昇時等の検討を行う。

Ⅶでは、上記研究結果をまとめ、本研究の意義、成果等について総括的に述べる。

なお、本論の構成を Fig.2 に示す。

本論文を取りまとめるに当たりまして、東京大学大学院農学生命科学研究科教授 塩沢昌博士には、本論文の構成から内容に至るまで、懇切、丁寧な御指導、御助言並びに励ましの言葉を賜りました。ここに厚く謝意を表します。また、同研究科教授 宮崎毅博士、同准教授 西村拓博士、同講師 飯田俊彰博士、同助教 岡島賢治博士 同特認助教 西田和弘博士には、御指導、御助言を賜りましたことに深く感謝する次第です。

本論文は、農村工学研究所に勤務した時に、前任地の沖縄総合事務局土地改良総合事務所で取り組んだ下水処理水を農業利用するための下水への塩水地下水浸入対策の検討の経験を踏まえ、偶然にも時宜を得て取り組み始

めることが出来たもので、研究を進める上で多くの方々の御指導、御助言を頂きました。農村工学研究所長 小前隆美博士には、本研究の機会と適切な御助言、励ましを頂きました。同所農地・水資源部長 中達雄博士には、本論文の取りまとめについて適切な御指導を頂きました。また、同室の主任研究員の友正達美氏には、研究内容について具体的な御助言を頂くとともに、研究室としての日ごろの研究業務の遂行にあたり、多大な御協力を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

本研究に必要なデータの収集に当たり、内閣府沖縄総合事務局開発建設部、同局農林水産部、沖縄県土木建設部、同県農林水産部、那覇市上下水道部の皆様の多大な御協力を得たことに御礼申し上げます。

最後に、東京大学大学院農学生命科学研究科農地環境工学研究室の諸氏には、論文発表等に際し、種々御支援、御協力を頂きました。その他、本論文取りまとめに当たり御指導頂いた全ての方々の御名前を記すことが出来ないことをお詫し頂き、ここに、改めて記して深謝の意を表する次第です。

Ⅱ 下水処理水を再生水として利用することの意義と状況

1 下水処理水を再生水として利用することの意義

気候変動、人口増加、生活レベルの向上等による利用可能な水の不足や、新たな水資源開発による生態系への影響等が懸念される中で、多くの地域社会では利用可能な水の供給は限界に近づきつつある。再生水は、一度他の用途に利用した水を再度利用するものであり、持続可能な代替水源としての利用可能性が高く、また、取水量や排出負荷の減少による生態系への影響緩和、排水規制への対応としても活用できる。これらのことから、健全な水・物質循環系を構築していくために再生水の利用を促進していくことが必要と考えられる(Asano et al., 2007)。

我が国では、平成 18 年度末現在、下水道普及率は 70% を超えており、下水道の普及に伴って下水道に流入する水量は膨大になっている(下水処理水の再利用のあり方を考える懇談会, 2009)。この下水処理水を再生水として利用することが、取り分け島嶼部等水資源が少ない地域では重要と考えられる。

このような中、以下のような社会的意義・効果を踏まえて、適切かつ着実に再生水利用を促進していく必要がある。

a 安定的な水利用への貢献

再生水を利用することは、農業用水等の渇水リスクを軽減する効果が期待され、気候変動への適応策としても有望である。

また、地震等の災害時には、ビル内のトイレが使えなくなることが最も支障のある問題として認識されてい

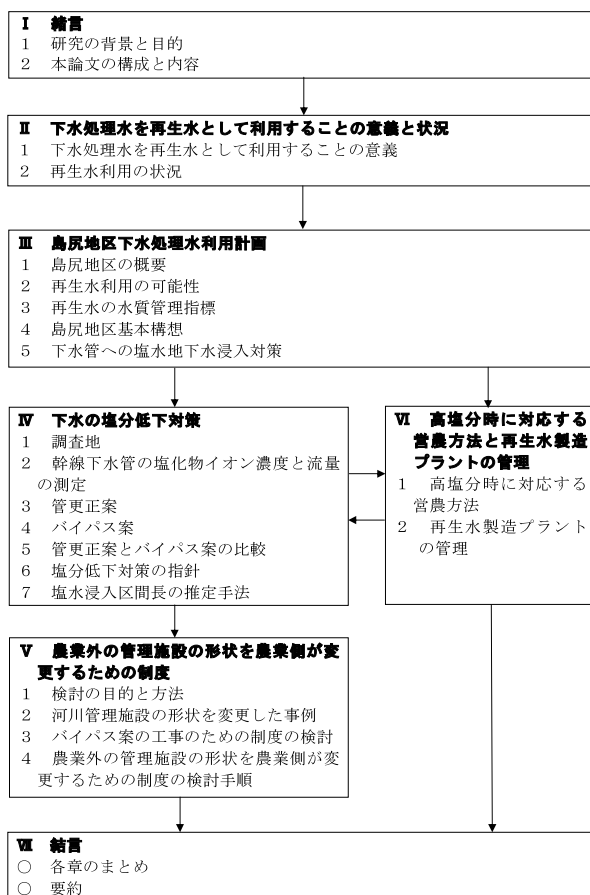


Fig.2 本論の構成

Structure of this paper

る。上水道のみの場合や、雑用水の個別循環の場合には、上水道の供給が遮断されれば、ビル内のトイレは使用不能となる。それに対して、再生水を利用する場合には、2つの独立の水系統が存在するため、仮に片方の水系統が遮断されても、ビル内の水系統は1系統が使用可能であり、機能停止のリスクは低くなる(下水処理水の再利用のあり方を考える懇談会, 2008)。

b 公共用水域の水質改善等への寄与

再生水の処理区内での循環利用を促進することは、その地区における上水供給量の抑制や、下水処理場からの排出負荷量を低減する効果がある。また、循環利用による上水供給量の削減により、河川からの取水量を減少することができ、河川の維持流量を確保する効果も期待できる(下水処理水の再利用のあり方を考える懇談会, 2008)。

c 地球温暖化による気候変動への緩和策としての効果

下水処理水の再利用を行うことによって、その他の水源を利用するよりもエネルギー消費量が削減され、地球温暖化対策にも寄与する場合もあると考えられる(下水処理水の再利用のあり方を考える懇談会, 2008, Dawn et al., 2009)。

d うるおいのあるまちづくりへの貢献

せせらぎ等の水辺空間の再生・創出に対して、再生水利用を行うことが評価されるのは日本の特徴であるが、都市におけるせせらぎの創出には、ヒートアイランド抑制効果、水生生物の生息場の確保、生物多様性の確保、景観の改善、生活のゆとり創出等、多面的な意義・効果がある(下水処理水の再利用のあり方を考える懇談会, 2008)。

2 再生水利用の状況

再生水利用の状況について、海外と我が国の概要を示す。但し、ここで示す再生水利用のデータについては、何らかの用途への利用を目的として下水処理場から直接送水され利用されている水量を把握しているものであり、河川への放流後に河川水とともに取水している場合や、下水処理場から近隣の河川等に放流された下水処理水が結果として河川流量の確保に寄与している場合等は含まれていない(下水処理水の再利用のあり方を考える懇談会, 2009)。

a 海外の再生水利用の状況

海外で、再生水の利用量が多い地域や、下水処理水の再利用率が高い地域は、一般的に降水量の少ない地域である(表1)(下水処理水の再利用のあり方を考える懇談会, 2009)。海外の用途は、農業用水が多い(田中, 2008)。例えば米国カリフォルニア州では、再生水の5割程度が農業用水として利用されている(図3)。また、農業用水を用途に含む再生水の水質基準が制定されている(山縣, 2008)。さらに、今後渇水問題が深刻化する

Table 1 主要国の下水処理水の再利用率および再利用量
Ratio and amount of reuse of reclaimed wastewater in major countries

国	年降水量 (mm/年)	下水処理水 再利用率 (%)	下水処理水 再利用量 (万 m ³ /年)
米国	715	6	365,000
イスラエル	647	83	28,000
スペイン	636	12	35,000
イタリア	832	7	23,000
日本	1,690	1.4	20,000
オーストラリア	534	—	16,600

(出典: Davide Bixio and Thomas Wintgens eds, Water Reuse System Management Manual-AQUAREC, EUROPEAN COMMISSION, 2007, カリフォルニア大学浅野孝名誉教授報告資料に年降水量を追加。イスラエルは平成21年理科年表, それ以外は平成20年度国土交通白書。)

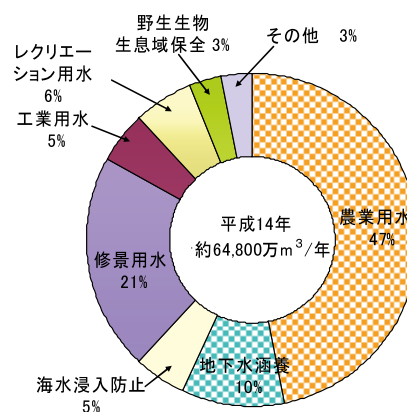


Fig.3 米国カリフォルニア州における下水処理水再利用の内訳
(出典: California Department of Water Resource (2004), California Water Resource Control Board (2002))
Breakdown rate of reuse of reclaimed wastewater in the state of California, USA

中で安定した水供給を図る水資源確保策の一つとして、下水処理水の再利用が計画されている(川島と浅野, 2009)。

b 我が国の再生水利用の状況

我が国の再生水利用量は平成18年度で約2億m³であり、下水処理水の再利用率は約1.4%と低い。また、我が国の用途は、62%が修景用水や親水用水、河川維持用水等の環境用水として利用されており(表2, 図4)(下水処理水の再利用のあり方を考える懇談会, 2009)、農業用水としての利用は僅かである(田中と浅野, 2006)。また、我が国では、平成17年に「下水処理水の水質基準等マニュアル」が策定されているが、農業用水は用途に含まれていない(南山, 2008)。そのため、再生水を農業用水として利用するには、個別に技術的、制度的な検討を行わなければならない、このことが我が国の再生水の農業用水としての利用が少ない原因の1つになっていると考えられる。

ここでは、我が国の下水処理水の農業利用の事例として、香川県多度津町と熊本県熊本市の取り組みを示す。

Table 2 我が国における再生水利用実績(平成 18 年度)
Actual record of reuse of reclaimed wastewater in Japan (2006)

平成 18 年度	処理場数	(万 m ³ / 年)	(%)
水洗トイレ用水	53	676	3.5
修景用水	100	5,215	26.9
親水用水	25	520	2.7
河川維持用水	9	6,295	32.5
融雪用水	40	3,480	18.0
植樹帯散水	85	29	0.1
道路・街路・工事現場の清掃・散水	66	20	0.1
農業用水	29	1,143	5.9
工業用水道への供給	2	279	1.4
事業場・工場への直接供給	48	1,694	8.8
合 計	286	19,351	

(出典：下水処理水の再利用のあり方を考える懇談会，2009)

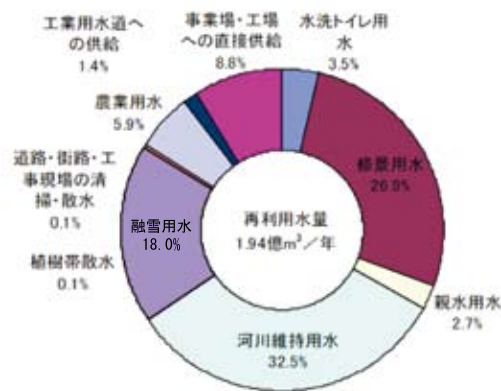


Fig.4 再生水の利用用途の内訳

(出典：下水処理水の再利用のあり方を考える懇談会，2009)

Breakdown rate of reuse of reclaimed wastewater

これらは、平成 20 年 6 月に環境省の地球温暖化影響・適応研究委員会がまとめた報告書に、地球温暖化に伴う水資源の不安定化に対し安定した水資源を供給できる有効な適応策として参考になれる事例として示されている。

(1) 香川県多度津町

多度津町は、農業用水のみならず河川維持用水や親水用水等の確保を図る「多度津町再生水利用計画」を策定し事業を実施している。

本計画では、中讃流域下水道金倉川浄化センターの下水処理水約 12,000m³/日の内最大 10,000m³/日を再生し、農業用水 2,000m³/日、河川環境の維持用水 5,500m³/日、親水用水 2,500m³/日を送水することとなっている。また、農業用水は、375ha の水稻に補給することとなっている(田坂，2007)。

(2) 熊本県熊本市

熊本市は、水稻かんがい用水の不足を解消するため、数年にわたって試験栽培を繰り返し行い検討し、中部浄化センターの下水処理水を河川水と混合して利用して

いる。供給水量は日最大 32,000 m³ で、供給水田面積は 2.25km² である(浅野ら，1999)。年間の再利用量は 765 万 m³/年(2004 年度)で、全国での農業用水としての再利用量の約 3 分の 2 を占めている(環境省地球温暖化影響適応策研究委員会，2008)。

しかしながら、何れも再生水が直接人の口に入らない水稻中心の利用であり(田中と浅野，2006)、再生水を生食用野菜等の栽培に利用することを主目的とする事例は見当たらない。

Ⅲ 島尻地区下水処理水利用計画

1 島尻地区の概要

島尻地区は沖縄本島南部の糸満市、豊見城市、南城市及び八重瀬町にわたって位置する約 1,550ha の畑作地帯である。主な作物はサトウキビであるが、レタス、チンゲンサイ、ニガナ等の野菜や小ギク等の花卉類も地区全体で広く栽培されている。特に近年は那覇市の近郊に位置していることから、ゴーヤー、サヤインゲン、ピーマン等の施設野菜、マンゴー、パパイヤ等の施設果樹等が増加している。

しかしながら、周辺にはかんがい用水として利用可能な河川や透水性の高い琉球石灰岩のある地下ダム適地が無く、地表水や地下水を利用する畑地かんがいが困難であり、農業生産は天候に左右されることから、高収益作物の収量を十分に増やすことが困難となっている。

このため、下水処理水を再生することで水源を確保し、用水路及び末端かんがい施設の整備を行うことによって、農業生産性の向上が図られ、農業経営の安定と地域農業の振興及び発展が実現されようとしている(Fig.5, Fig.6)(仲村ら，2009)。

なお、島尻地区の南には琉球石灰岩があり、地下ダムを設置し 1,400ha 程度の畑地にかんがい用水を供給する「沖縄本島南部地区」が平成 17 年度に完了している。作

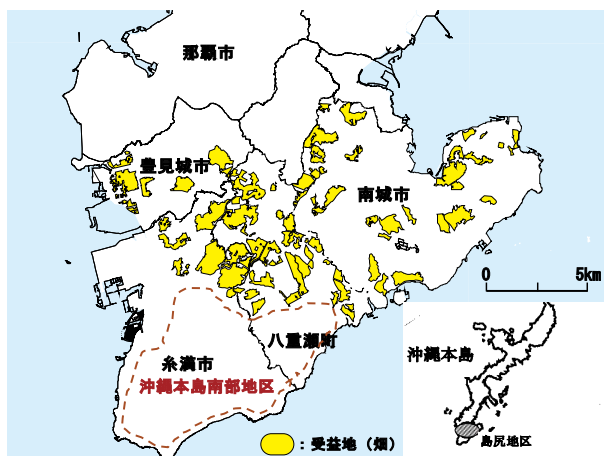


Fig.5 島尻地区位置図 (出典：仲村ら，2009 を修正)
Location map of the Shimajiri District



Fig.6 島尻地区の農業的土地利用
Agricultural land use in the Shimajiri District

物は、島尻地区と同様である。

2 再生水利用の可能性

ここでは、島尻地区における従来の研究を示す。我が国では再生水の農業利用の基準がないため、米国カリフォルニア州の世界で最も厳しい基準と言われ、アメリカ国内のみならず世界に影響を与えている「タイトル 22 条例」(1978 年制定)が、気象条件等が異なる島尻地区に適用できるか確認することとされた(田中と浅野, 2006, 浅野ら, 2008)。因みに、カリフォルニア州では、再生水 6.5 億トン/年の 5 割程度と大量の農業利用が行われている(山縣, 2008)。「タイトル 22 条例」では、再利用水質基準と最低限必要な処理工程が定められている(表 3)(田中と浅野, 2006)。そのため、平成 14 年度に「タイトル 22 条例」に準拠した再生水実証プラント(Fig.7)が設置され、処理工程を変えながら、再生水の「人への安全性」、「農作物への影響」、「環境への影響」が実証されてきた。具体的には、「人への安全性」については、クリプトレーサー(病原性原虫の疑似物質)除去試験、ウイルス除去試験等が、「農作物への影響」については、農作物の生育調査、減肥効果調査(Sheikh, 2005)等が、「環境への影響」については、水質モニタリングや土壌の窒素動態を把握するライシメーター試験等が行われた。また、再生水の利用に対する農家や消費者の意向についてアンケート調査が行われた(仲村ら, 2009)。

その結果、再生水製造プラントの処理工程は、Fig.8 のとおりとされた。「人への安全性」については、どの項目も「タイトル 22 条例」を満足する結果が得られ問題ないとされた。「農作物への影響」については、露地栽培では生育、収量及び品質に差異は見られず問題ないとされた。また、再生水の高い窒素分(全窒素約 20mg/L)の肥効を活かし窒素肥料を 1/3 程度削減できるとされた。しかしながら、降雨の影響を直接受けない施設栽培では、再生水の塩化物イオン濃度が年間平均 550mg/L と高いことから多くの主要作物に支障があり、別途Ⅲ章 5 以降の下水管への塩水地下水浸入対策を検討する必要が生じた。「環境への影響」については、再生水は、窒

Table 3 米国カリフォルニア州での灌漑用水の再利用水質等の主な基準
Main standards on reclaimed wastewater for agricultural use in California

再利用の用途	最低限必要な処理工程			大腸菌群数 MPN/100mL 7 日間の中央値(毎日サンプリング)
	最初沈殿	二次処理後 消毒	二次処理後、凝集・ろ過・ 消毒(濁度の 24 時間の 平均が 2 を越えない)	
飼料穀物	○			規制無し
繊維穀物	○			規制無し
種苗穀物	○			規制無し
生食用(表流水灌漑)		○		2.2 未満
生食用(スプレイ灌漑)			○	2.2 未満
加工用食料生産(表流灌漑)	○			規制無し
加工用食料生産(スプレイ灌漑)		○		23 未満

注) 下線部を島尻地区に適用。

(出典：田中と浅野, 2006 を修正)

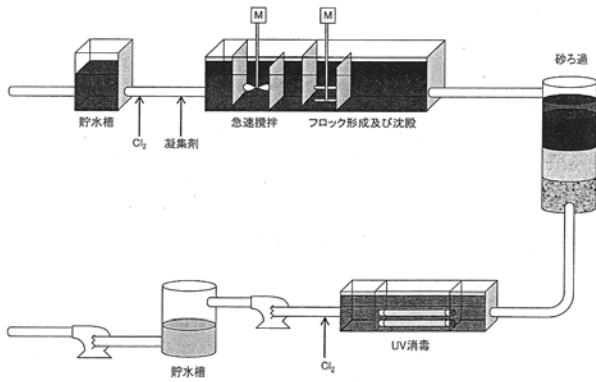


Fig.7 再生水実証プラントの概略図 (出典：鋼鉄と荒川, 2007)
Schematic diagram of verification plant for wastewater reclamation

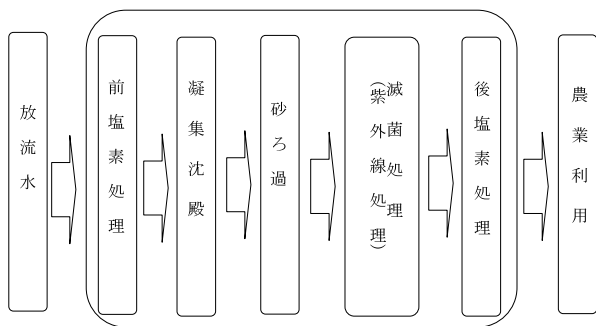


Fig.8 再生水製造プラントの処理工程 (出典：仲村ら, 2009)
Process of wastewater reclamation

素分以外のカドミウム、全シアン、鉛等の人の健康の保護に関する環境基準等を満足しており、また、窒素肥料を 1/3 程度削減した場合の窒素溶脱量は現状と大きな差は見られず問題ないとされた(仲村ら, 2009)。アンケート調査では、再生水の利用について農家の 74% が「気にしない」との、再生水で育てた農作物について消費者の 82% が「買う」との多くの肯定的な回答が得られている(中里ら, 2008)。

3 再生水の水質管理指標

我が国では、下水処理水の都市用水への再利用に関する水質基準はあるが、農業用水への再利用に関する水質基準は無い。そのため、再生水利用の可能性の検討を踏まえ、「人への安全性」の観点から大腸菌群数と濁度が、「農作物への影響」の観点から水素イオン濃度と塩化物イオン濃度が再生水の水質管理指標とされた。なお、「環境への影響」の観点から検討されてきた全窒素については、むしろ施肥の一部として有効に作用することから、適正施肥を明示した栽培指針を定めることにより問題無いと考えられたため、水質管理指標としないこととされた。

また、再生水の水質管理指標それぞれの水質管理値は次のとおりとされた。

大腸菌群数については、人畜の糞便等による汚染の可

Table 4 島尻地区再生水水質管理指標
Quality control standards on reclaimed
wastewater in the Shimajiri District

水質項目	水質管理値
大腸菌群数	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1 回 / 日の観測 ・ 7 日間の中央値が 2.2MPN/100mL を越えない ・ 30 日間で 23MPN/100mL を越えるサンプルは 1 つまで ・ 240MPN/100mL を越えるサンプルがあつてはならない
濁度	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1 回 / 時間の観測(濁度計による連続観測) ・ 24 時間の平均が 2NTU を越えない ・ 24 時間の 5% が 5NTU を越えない ・ 常時 10NTU を越えない
水素イオン濃度 (pH)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1 回 / 時間の観測(pH 計による連続観測) ・ 日間平均値が 5.8 ~ 8.6
塩化物イオン濃度 (CL ⁻)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1 回 / 時間の観測 (EC 計による連続観測) ・ 日間平均値が 200mg / L 以下

MPN：培養した大腸菌群のコロニー数を確率統計的に測定した単位。
NTU：濁度の単位。水中に光を当てたときに、遮断される割合を表したものの。
(出典：仲村ら, 2009 を修正)

能性を示す指標であるが、我が国では農業利用の基準が無いため、「タイトル 22 条例」の大腸菌群数の値を用いる。

濁度については、衛生学的安全性のうち原虫類への対応及び処理の信頼性の観点から設定されているが、我が国では農業利用の基準が無いため、大腸菌群数と同様に「タイトル 22 条例」の濁度の値を用いる。

水素イオン濃度については、島尻地区における再生水を使用した実証栽培で導入予定作物の生育に影響が無かったことから、那覇浄化センターの放流基準値を用いる。

塩化物イオン濃度については、後述の下水への塩水地下水浸入対策の成果を踏まえ、導入作物のうち耐塩性の弱い作物が島尻地区と同じで、島尻地区に隣接し塩水浸入阻止型地下ダムを水源としている沖縄本島南部地区の「塩水管理マニュアル」の許容塩化物イオン濃度値を用いる(仲村ら, 2009)。

再生水の水質管理指標を、Table 4 に示す。

4 島尻地区基本構想

ここでは、沖縄総合事務局土地改良総合事務所が作成したパンフレットの内容を示す(沖縄総合事務局土地改良総合事務所, 2008)。

a 事業概要

(1) 目的

下水処理水を再生することで水源を確保し、用水路及び末端かんがい施設の整備を行い、農業生産性の向上を図り、農業経営の安定と地域農業の振興及び発展に資することを目的としている(Fig.9)。

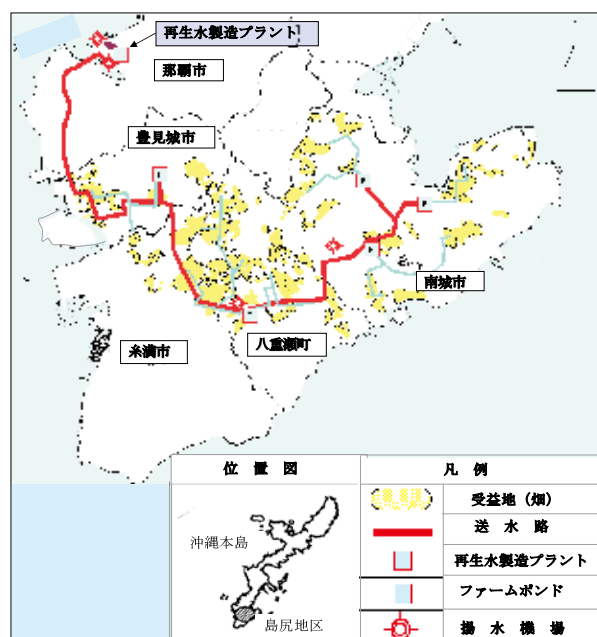


Fig.9 島尻地区基本構想図(出典：仲村ら，2009を修正)
Conceptual map of the Shimajiri District

(2) 関係市町村等

島尻地区の関係市町別の受益畑地面積と受益者数は、**Table 5**のとおりである。

- (3) 施設計画 国営事業：再生水製造プラント1ヶ所，
揚水機場4ヶ所，ファームポンド5ヶ所，用水路(管路)68km

関連事業：末端畑かん施設 他

- (4) 事業期間 9年間(予定)

- (5) 総事業費 国営事業：約400億円

関連事業：約160億円

(事業主体：県，市町)

b 建設費負担

(1) 補助率

沖縄における国営かんがい排水事業と関連事業の施行区分と予定負担割合は、**Table 6**のとおりである。

(2) 農家の建設費負担

県，市町との協議の上，決定される。なお，「沖縄本島南部地区」については，国営事業の農家建設費負担は無い。

c 維持管理費負担

(1) 維持管理(試算)

年間300坪(1反)当たり約2万円(参考：「沖縄本島南部地区」1万3千円)

〔維持管理費の内訳〕

電力費，補修費，薬品費，ケーキ処分費，分析費，土地改良区運営費

なお，「沖縄本島南部地区」より割高になっているのは，再生水を造るための費用に加え，「那覇浄化センター」がある那覇市の低地部から島尻地区の高台かつ広範な農地まで水をパイプラインで送るためである。

(2) 農家の維持管理費負担

維持管理費の約2万円のうち，農家負担分をいくにするかは，市町及び新たに設立される土地改良区と協議の上決定される。

【参考】

「沖縄本島南部地区」

(基本料金) 年間300坪(1反)当たり 3,000円

(使用料金) 使用水量1m³当たり 25円

Table 5 島尻地区の関係市町別の受益畑地面積と受益者数
Beneficial farm are and number of beneficial farmers in the Shimajiri District

	糸満市	豊見城市	南城市	八重瀬町	計
受益畑地面積 (ha)	347	141	581	479	1,548
(%)	(22.4)	(9.1)	(37.5)	(31.0)	(100.0)
受益者数 (人)	1,536	745	3,601	2,039	7,921

(出典：沖縄総合事務局土地改良総合事務所，2008)

Table 6 国営かんがい排水事業と関連事業の施行区分と予定負担割合
Construction share of the government-operated project and that of prefecture-operated project, and rate of burden sharing

事業名	施行区分	予定負担割合 (%)		
		国	県	地元
国営かんがい排水事業	再生水製造プラント及び基幹的な水利施設(ファームポンド，用水路，揚水機場等)	*90 (2/3)	5 (23.4)	5 (10)
関連事業	支線用水路，末端かんがい施設等の整備(県営かんがい排水事業等)	80 (50)	11 (25)	9 (25)
	農地基盤の整備(畑地帯総合整備事業等)	75 (50)	14.5 (25)	10.5 (25)

* 沖縄振興特別措置法(H14～23)に規定する政令で定める割合，()は参考で内地(本州，四国，九州)の補助率

(出典：沖縄総合事務局土地改良総合事務所，2008)

Table 7 島尻地区で想定している目標経営類型(案)【試算】
Types of planned agricultural management in the Shimajiri District

〔単位：万円〕

主な経営類型	収入	経営費		農業所得
			*うち 水代	
サトウキビ 3,000 坪 + マンゴー 900 坪	741	306	26	435
サトウキビ 3,000 坪 + ゴーヤー 900 坪	717	258	26	459
レタス 1,350 坪 × 3 回	602	147	9	455
ゴーヤー 900 坪 + インゲン 600 坪	707	294	10	413
小ギク 3,600 坪	1,258	821	24	437
マンゴー 1,200 坪	726	305	8	421

(経営類型については検討段階のものであり、今後変更になる可能性もある。)

※水代とは、維持管理費の農家負担分である。300 坪 (10a) 当たり 2 万円で試算している。

(出典：沖縄総合事務局土地改良総合事務所，2008)

d 目標経営類型

農業用水を安定的に確保することにより、干ばつ被害の回避や畑かんによる増収も期待出来る。また、「サトウキビ」専作から収益性の高い野菜や果樹の導入が可能になる。

島尻地区で想定している目標経営類型は、Table 7 のとおりである。

5 下水管への塩水地下水浸入対策

島尻地区で利用しようとしている那覇処理区の下水は、海に面した地盤標高の低い埋立地からの排水を含み、この地域の海面下に敷設された下水管の破損部分からの塩水地下水浸入により塩化物イオン濃度が高く、現状のままでは下水処理水を農業用水として使うことはできない。農業用水として使うためには、導入作物の中で耐塩性の弱い作物の生育に支障の無い 200mg/L 以下に塩化物イオン濃度を下げる必要があるが、海外にも塩化物イオン濃度を下げるための基準や適当な事例は見当たらない。これらのことが事業計画案の作成上解決すべき大きな課題となっていた。

そのため、本研究では新たに下水管への塩水地下水浸入対策、即ち栽培にできるだけ支障の無い程度に下水処理水の塩化物イオン濃度を下げる下水の塩分低下対策と、一度下がった塩化物イオン濃度が下水管の破損で再び上昇する場合に必要な高塩分時に対応する営農方法について検討した。

具体的には、下水の塩分低下対策については、下水処理水の塩化物イオン濃度が高い原因が一部の海面下の破損した下水管への塩水地下水浸入であることから、塩化物イオン濃度と流量の測定を行い、下水管の更生を行い塩水地下水浸入を防ぐ管更生案と、排水経路の変更を行い塩化物イオン濃度が低い下水のみを集めて処理するバイパス案を比較検討した。また、高塩分時に対応する営農方法については、島尻地区の主要作物の塩水生育試験を行い、作物の耐塩性や塩化物イオン濃度の低下目標を明らかにした上で、栽培上の留意点、除塩対策及び下水

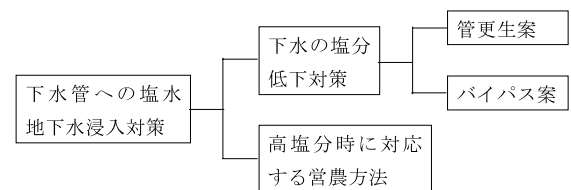


Fig.10 下水管への塩水地下水浸入対策の構成
Structure of countermeasures for saline groundwater infiltration into sewer pipe

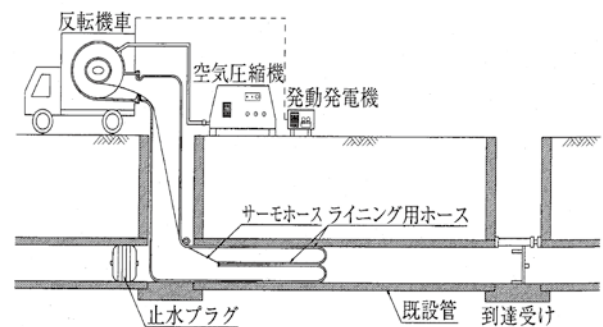


Fig.11 管更生の例(反転工法) (出典：野中ら，2002)
Reversal method: an example of pipe rehabilitation

処理水の取水方法について検討した(Fig.10)。

なお、ここで言う破損とは、管の形状を保っていない全体の欠陥、管のクラックや継手のずれ、取付管の接合不良等である。また、ここで言う管更生とは、管きょ更生工法のことであり、既設管に破損、クラック、腐食等が発生し、耐荷能力、耐久性の低下及び流下能力が保持できなくなった場合、既設管内面に管を構築して既設管の更生及び流下能力の確保を行うものである(財団法人下水道新技術推進機構，2005，Fig.11)。

IV 下水の塩分低下対策

1 調査地

島尻地区で下水処理水を利用しようとしている那覇処

理区と島尻地区基本構想の位置関係は **Fig.12** のとおりである。那覇処理区では、家庭や事業所からの下水を末端下水管で集め、小禄、南風原、安謝、那覇の4つの幹線下水管を通じて那覇浄化センターに送り処理している。また、末端下水管や幹線下水管には、維持管理のためのマンホールが設けられている。下水管の総延長は737kmで、そのうち、海面下となり塩水地下水浸入の可能性があるのは管底が過去の最高潮位と同程度の標高1.4m以下の下水管であり(**Fig.13**)、その延長は133kmで全体の2割程度にも達する(**Fig.14**)。このような下水管は埋立地に多いが、埋め立土には水締めがし易く圧密沈下が起こりにくい砂礫質土が一般的に使われており透水性が高い。地質柱状図から埋め立て土は数メートルもの厚みがあり透水係数は $10^{-1} \sim 10^{-2} \text{cm/sec}$ 程度と推定できること、埋立地の殆どは海や海水浸入河川から1.5km以内と近く、地下水位が潮汐によって数10cmから1m近くも日変動することから、海水と地下水の充分な混合があると考えられる。これを考慮すると埋め立て地の地下水の塩化物イオン濃度は海水(約19,000mg/L)(理科年表, 2009)に近いと考えられる。実際、マンホールで測定された塩化物イオン濃度の最大値(10,700mg/L)は海水の濃度の1/2以上である。

2 幹線下水管の塩化物イオン濃度と流量の測定

a 方法

既存調査の結果から、①小禄幹線と南風原幹線の塩化

物イオン濃度は低く安謝幹線と那覇幹線は高いこと、②南風原幹線は全般的に塩化物イオン濃度が低い、小禄幹線は鏡原MH(「MH」はマンホールの略、以下同じ)の塩化物イオン濃度だけが満潮時に顕著に高いことが分かっている(沖縄県下水道管理事務所水質管理課, 2006)。

これらを踏まえ、下水の塩分低下対策を検討するに当たっては、塩水地下水浸入の場所と量を把握するため、下水管等における地点毎の下水の塩化物イオン濃度や流量等を調査した。

具体的には、管更生案とバイパス案を検討するために、鏡原MH並びに小禄幹線及び南風原幹線における、塩水地下水浸入の可能性がある末端下水管との接続点直下流のマンホールの塩化物イオン濃度と流量を、潮位の変動と関連付けて調査した。具体的には、**Fig.15**に示した鏡原MH、奥武山P前(「P」はポンプ場の略、以下同じ)、MH10、MH2-2、MH0-4に自記録式の電気伝導度計及び水位・流速計を設置し、大潮時を含む一定期間(2006年8月1日～23日)の連続測定を行い、塩化物イオン濃度と流量を求めた。その際、塩化物イオン濃度については、沖縄県が海水より低い濃度の下水の塩化物イオン濃度の測定に用いている次式の換算式を用いた。

$$C = 0.0002 \times EC^2 + 2.9574 \times EC - 184.92 \quad (1)$$

ここで、 C は塩化物イオン濃度(mg/L)、 EC は電気伝導度(mS/m)である。

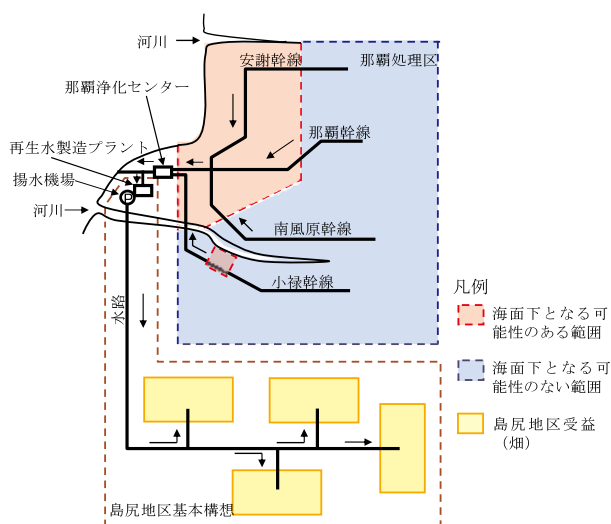


Fig.12 那覇処理区と島尻地区基本構想の位置関係
Positional relation between Naha sewage-treatment area and the Shimajiri District

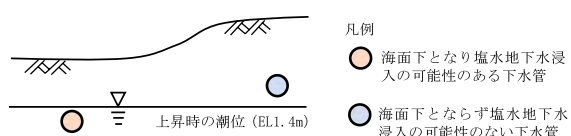


Fig.13 下水管と海面の関係
Relation between sewer pipe and the sea level



Fig.14 塩水地下水浸入の可能性がある下水管の分布状況
Distribution of sewer pipes having possibility of saline groundwater infiltration

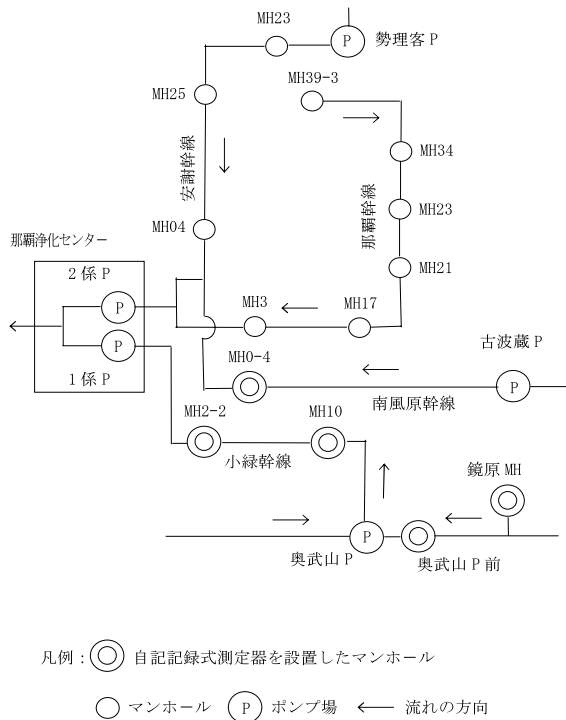


Fig.15 測定を行った幹線下水管のマンホール及びポンプ場の位置

Location of manholes and pumping stations of main sewer pipes where measurements were taken

また、管更生案を検討するために、大潮(2006年8月10日～11日)の満潮時に、塩水地下水浸入の可能性のある末端下水管との接続点直下流のマンホールやポンプ場(以下「マンホール等」という)の塩化物イオン濃度を採水の上電気伝導度計(非自記録式)で測定した。具体的には、**Fig.15**に示した幹線系統において、1系P関連では小緑幹線の奥武山Pと1系Pを、2系P関連では安謝幹線の勢理客P、MH23、MH25、MH04と那覇幹線のMH39-3、MH34、MH23、MH21、MH17、MH3と南風原幹線の古波蔵Pと2系Pを測定した。また、自記録式の水位・流速計で測定した流量や下水道管理者から入手したポンプ場の流量から大潮の満潮時の値を読み取るとともに、これらをもとに排水区(ここで「排水区」とは、幹線下水管に接続する末端下水管の受け持つ区域である)の人口による比例配分により残りの流量測定をしていないマンホールの流量を求めた。また、那覇浄化センターの塩化物イオン濃度は、1系Pと2系Pの流量を考慮した加重平均により求めた。

b 結果

潮位と幹線下水管におけるマンホールの塩化物イオン濃度の変動には関連性があり、特に干満差が2m以上となる大潮の満潮時をピークとして塩化物イオン濃度が高くなる傾向が見られる(**Fig.16**, **Fig.17**)。取り分け接続する末端下水管の管底標高が-1.18mと低い鏡原MHは塩化物イオン濃度が10,000mg/Lを越えており、その傾向が顕著である。小緑幹線においては、塩化物イオン

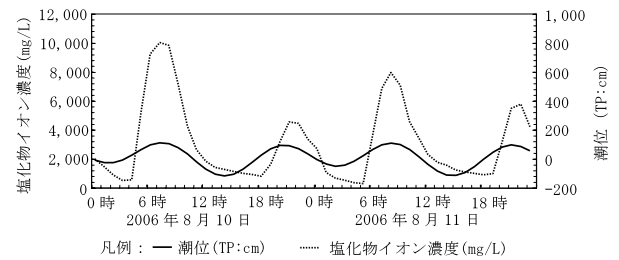


Fig.16 鏡原MHにおける大潮時の潮位と塩化物イオン濃度の関係

Relationship between spring-tide level and chloride ion concentration in Kyohara MH

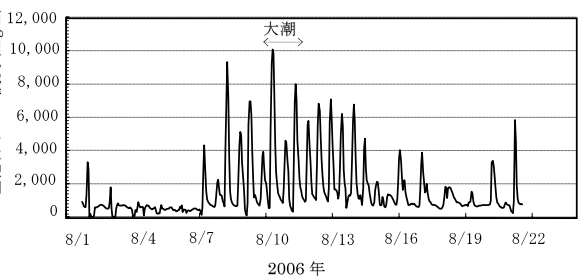
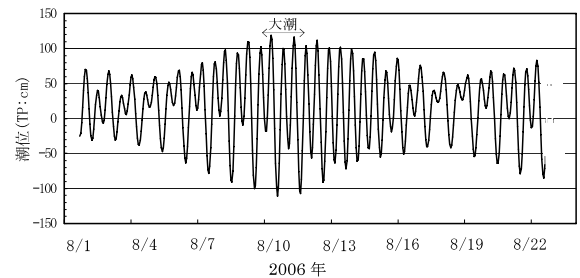


Fig.17 鏡原MHにおける潮位と塩化物イオン濃度の関係

Relationship between tide level and chloride ion concentration in Kyohara MH

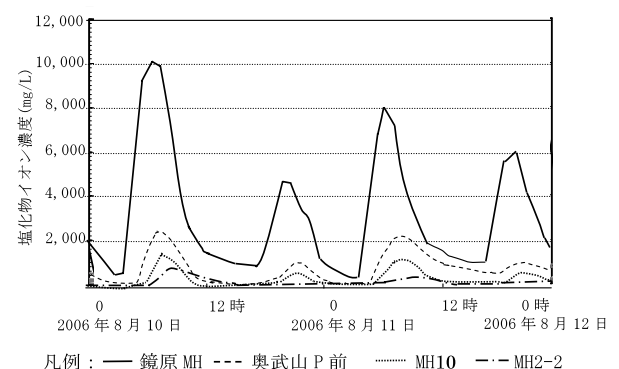


Fig.18 小緑幹線における大潮時の地点別塩化物イオン濃度
Chloride ion concentration at each point during spring tide on the Oroku main sewer pipe

濃度は鏡原MHで顕著に高く下流ほど低い傾向があることや、塩化物イオン濃度のピークは下流ほど遅れる傾向があることから、鏡原MHより下流の方が下水流入によって希釈されていると推察される(**Fig.18**)。南風原幹線については全般的に塩化物イオン濃度が低く、下

流のMH0-4では作物生育に支障の無い200mg/L以下が殆どであった。また、潮位と各マンホールの流量の変動は潮位と塩化物イオン濃度の変動程明確な関連性は見られなかった。

大潮の満潮時(T.P. = 約120cm)におけるマンホール等の塩化物イオン濃度や流量はTable 8のとおりであった。那覇処理区全体の塩化物イオン濃度は2,166mg/Lであり、年平均の550mg/L程度よりかなり高い値であった。

3 管更生案

下水道管理担当者によると、一般に末端下水管は家屋等への取付管があり、どこでも同様の構造で似たような破損が起こることとであり、破損区間長や破損区間長当たりの塩水地下水浸入量をどこでも同じと仮定すると、塩水地下水浸入量と塩水地下水浸入区間長は比例する。そのため、管更生案については、作業の効率性の観点から、まず、幹線下水管における大潮の満潮時の下水の塩化物イオン濃度や流量から、それぞれのマンホール等への塩水地下水浸入量と、マンホール等の直上流に接続する海面下の末端下水管の単位長さ当たりの塩水地下水浸入による塩化物イオン負荷量を推定した。次に、末端下水管の単位長さ当たりの塩化物イオン負荷量が各幹線で最も大きい排水区の塩化物イオン濃度測定から末端下水管の塩水地下水浸入区間長を求め、塩水地下水浸入量の

比率により那覇処理区全体の末端下水管の塩水地下水浸入区間長を推定した(Fig.19)。さらに、管更生案の費用の算定と利用可能な下水流量の設定を行うとともに、塩化物イオン濃度の低下の程度と安定性について検討した。

a 幹線下水管への塩水地下水浸入量の推定

(1) 方法

下水管のある地点においては、その上流側において家庭等から排出される下水の流量と塩化物イオン負荷に上流側における塩水地下水の浸入量と塩化物イオン負荷が加わって下流側に流出すると考えると(Fig.20)、測定地点のマンホール等における塩化物イオン負荷量の収支式として次式が成り立つ。

$$Q \times C = Q_s \times C_s + (Q - Q_s) \times C_b \quad (2)$$

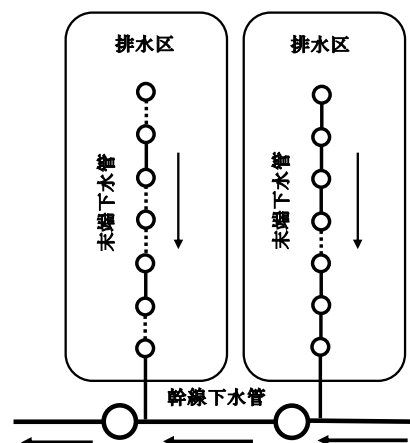
ここで、 Q は測定地点から流出する下水の流量(m^3/h)、 C は測定地点から流出する下水の塩化物イオン濃度(mg/L)、 Q_s は測定地点より上流における塩水地下水浸入量(m^3/h)、 C_s は塩水地下水の塩化物イオン濃度(mg/L)、 C_b は海から離れた塩水地下水浸入のない都市の下水の塩化物イオン濃度(mg/L)である。

(2)式を変形した次式により、流量 Q と塩化物イオン濃度 C から測定地点より上流における塩水地下水浸入

Table 8 幹線下水管におけるマンホール等の塩化物イオン濃度と流量(2006年8月)

Chloride ion concentration and flow at MHs of major sewer pipes

幹線名	測定地点	塩化物イオン濃度 (mg/L) (測定)	流量(m^3/h) (測定)
小緑幹線	鏡原 MH	10,660	52.6
	奥武山 P 前	2,616	336.0
	奥武山 P	1,470	739.5
	MH10	1,504	749.7
	MH2-2	930	1,236.9
1系 P		1,330	1,333.0
案謝幹線	勢理客 P	1,830	311.8
	MH23	1,716	743.5
	MH25	1,738	799.7
	MH04	1,687	893.5
那覇幹線	MH39-3	111	47.5
	MH34	1,540	837.3
	MH23	2,280	902.5
	MH21	2,539	1,000.1
	MH17	3,303	1,049.6
	MH3	2,689	2,058.0
南風原幹線	古波蔵 P	480	259.3
	MHO-4	358	448.0
2系 P		2,480	3,555.0
那覇浄化センター		2,166	4,888.0



凡例： 塩水地下水浸入区間
— 海面下で塩水地下水浸入の無い区間

Fig.19 排水区の末端下水管の塩水地下水浸入区間
Sections with possibility of saline groundwater infiltration in marginal sewer pipes

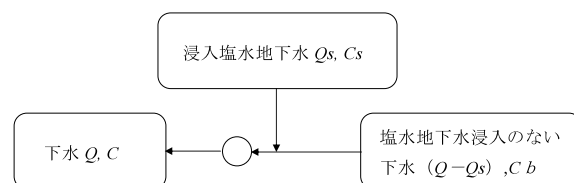


Fig.20 下水管のある地点における流量と負荷の収支
Balance of flow and load at a certain point in sewer pipe

量 Q_s を求めることができる。

$$Q_s = Q \frac{C - C_b}{C_s - C_b} \quad (3)$$

ここでは、 Q と C は **Fig.15** のマンホール等で測定されたものである。隣接する測定地点のマンホール等それぞれで求めた塩水地下水浸入量の差が、この間の塩水地下水浸入量、即ち下流側のマンホール等の直上流に接続する末端下水管の受け持つ排水区の塩水地下水浸入量となる(**Fig.21**)。また、 C_s を海水の濃度(19,000mg/L)と、 C_b を国内5都市の平均値(60mg/L)(内閣府沖縄総合事務局, 2007)と仮定した。

また、塩水地下水浸入による塩化物イオン負荷量(浸入量×塩化物イオン濃度)は次式により求まる。

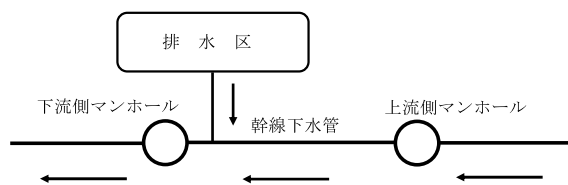


Fig.21 隣接する測定地点のマンホールと排水区
Relation among adjacent measuring MHs and sewer zone

$$Q_s C_s = Q C_s \frac{C - C_b}{C_s - C_b} = Q \frac{C - C_b}{1 - (C_b/C_s)} \quad (4)$$

隣接する測定地点のマンホール等それぞれで求めた塩化物イオン負荷量の差が、この間の塩化物イオン負荷量、即ち下流側のマンホール等の直上流に接続する末端下水管の受け持つ排水区の塩化物イオン負荷量となる。これを排水区の管底標高 1.4m 以下の末端下水管延長で除して単位長さ当りの塩水地下水浸入による塩化物イオン負荷量を求めた。

ところで、下水管への塩水地下水浸入の有無は、マンホール等における電気伝導度による塩化物イオン濃度測定によって判定できるが、大潮時の潮位と塩化物イオン濃度との強い関連性(**Fig.16**)は、潮位が高く地下水位が高いほど多くの塩水地下水が下水管へ浸入することを明確に示すものである。対象地域は地下水の塩化物イオン濃度が海水に近い埋め立て地であり、地下水を利用することはないので、地下水自体の水位と塩化物イオン濃度 C_s を測定できる井戸は存在しない。(3)式で推定される塩水地下水浸入量 Q_s は、浸入する塩水地下水の塩化物イオン濃度 C_s に依存する。本研究では、 C_s を海水の塩化物イオン濃度と仮定して浸水量を計算したが、 C_s は海水の濃度に近いものの海水よりは濃度は低いはずであ

Table 9 各排水区における末端下水管の単位長さ当りの塩化物イオン負荷量(2006年8月)
Chloride ion load per unit length of branch sewer pipes in each drainage zone

幹線名	測定地点	塩化物イオン濃度 (mg/L) (測定)	流量 (m³/h) (測定)	塩水地下水浸入量 (m³/h) (推定)	測定地点間の 塩水地下水浸入量 (m³/h) (推定)	塩化物イオン 負荷量 (kg/日) (推定)	海面下の 末端下水管 延長 (m)	単位長さ当りの 塩化物イオン 負荷量 (kg/日/m) (推定)
小禄幹線	鏡原 MH	10,660	52.6	29.4	29.4	13,420	1,893	7.09
	奥武山 P 前	2,616	336.0	45.3	15.9	7,255	10,532	0.69
	奥武山 P	1,470	739.5	55.1	9.7	4,429	2,496	1.77
	MH10	1,504	749.7	57.2	2.1	960	395	2.43
	MH2-2	930	1,236.9	56.8	0.0	0	5,010	0.00
1 系 P		1,330	1,333.0	89.4	32.6	14,849	2,372	6.26
安謝幹線	勢理客 P	1,830	311.8	29.1	29.1	13,285	11,301	1.18
	MH23	1,716	743.5	65.0	35.9	16,356	3,158	5.18
	MH25	1,738	799.7	70.8	5.8	2,664	9,899	0.27
	MH04	1,687	893.5	76.8	5.9	2,694	14,156	0.19
那覇幹線	MH39-3	111	47.5	0.1	0.1	58	358	0.16
	MH34	1,540	837.3	65.4	65.3	29,777	4,182	7.12
	MH23	2,280	902.5	105.8	40.4	18,402	8,664	2.12
	MH21	2,539	1,000.1	130.9	25.1	11,453	10,401	1.10
	MH17	3,303	1,049.6	179.7	48.8	22,261	2,984	7.46
	MH3	2,689	2,058.0	285.7	105.9	48,312	24,139	2.00
南風原幹線	古波蔵 P	480	259.3	5.7	5.7	2,622	4,642	0.56
	MH0-4	358	448.0	7.0	1.3	593	0	—
2 系 P		2,480	3,555.0	454.2	84.8	38,651	1,740	22.21
那覇浄化センター		2,166	4,888.0	543.6	0.0	248,041	118,321	2.10

る。従って、(3)式で推定した **Table 9** の塩水地下水浸入量はやや過小な推定であろう。しかし一方、 C_s が塩水地下水浸入のない下水の濃度 C_b より桁違いに大きい(数百倍である)ため、(4)式で推定される塩化物イオン負荷量は、実質上殆ど C_s には依存しないことに注意する必要がある。すなわち、 $C_s \gg C_b$ であれば(4)式は十分な精度で次式で近似され、殆ど C_s の値によらない。即ち、 C_s の正確な値は必要ではなく、マンホール等の流量と電気伝導度測定だけで塩化物イオン負荷量を推定できるのである。

$$Q_s C_s = Q \frac{C - C_b}{1 - (C_b/C_s)} \approx Q(C - C_b) \quad (5)$$

(2) 結果

マンホール等の塩水地下水浸入量や排水区における管底標高 1.4m 以下の末端下水管の単位長さ当たりの塩化物イオン負荷量等は、**Table 9** のとおりとなった。大潮の満潮時の塩水地下水浸入量は、那覇浄化センターの流量全体の約 11% であり、海面下の下水管の延長が全体の 20% 程度であることを考えると、海面下の下水管については大潮満潮時の上流側からの流入量を除く流量の 1/2 程度が塩水地下水の浸入によると考えられる。

b 末端下水管の塩水地下水浸入区間長の推定

(1) 方法

塩水地下水浸入の殆どは、延長の長い末端下水管で発生している。末端下水管は、流量が少なくその測定は困難である。一方、電気伝導度は容易に正確に測定できるので、電気伝導度測定によって塩水地下水浸入区間長を推定した。まず、末端下水管の塩水地下水浸入区間を調査する排水区として、管底標高 1.4m 以下の下水管の単位長さ当たりの塩水地下水浸入による塩化物イオン負荷量の値が各幹線で最も大きい排水区を選定した。前述のように、下水道管理担当者によると、一般に末端下水管は家屋等への取付管があり、どこでも同様の構造で(**Fig.22**)似たような破損が起こることとであり、破損区間長や破損区間長当たりの塩水地下水浸入量をどこでも同じと仮定すると、塩水地下水浸入量と塩水地下水浸

入区間長は比例する。

このため、管更生が必要な区間長即ち塩水地下水浸入区間長については、まず、選定した排水区において、上流側、右岸側、左岸側の3方向から流入し下流側に流出するようなマンホール(以下「合流のあるマンホール」という)で、大潮(2006年10月6日～7日)の満潮時に、上流側流入管、右岸側流入管、左岸側流入管、下流側流出管の電気伝導度を測定し、塩化物イオン濃度を求めた。次に、作物生育に支障の無い塩化物イオン濃度(200mg/L以下)の区間は除いて、合流のある2つのマンホール間の上流側より下流側の塩化物イオン濃度が高い場合に、この区間を塩水地下水浸入区間と見なし、この区間長を合計して選定した排水区の塩水地下水浸入区間長を求めた。次に、前述のように、末端下水管の破損区間長や破損区間長当たりの塩水地下水浸入量がどこも同じとした仮定に従い、選定した排水区と那覇処理区全体において、塩水地下水の浸入区間長と浸入量との比が同じと考え、次式により那覇処理区全体の塩水地下水浸入区間長を算定した。

$$L_z = Q_z / Q_h \times L_h \quad (6)$$

ここで、 L_z は那覇処理区全体の塩水地下水浸入区間長(m)、 Q_z は那覇処理区全体の塩水地下水浸入量で、那覇浄化センターへの流量と塩化物イオン濃度から推定される(m^3/h)、 L_h は選定した排水区の塩水地下水浸入区間長(m)、 Q_h は選定した排水区の塩水地下水浸入量(m^3/h)である。

また、合流のあるマンホールで測定している1～2時間に生じた塩化物イオン濃度の変化以内の濃度差を除いた場合についても同様に算定した。

さらに、合流のあるマンホールで測定している間に生じた塩化物イオン濃度の変化以内の濃度差を除くとともに、実際の下水管の破損区間が部分的であることを考慮して管更生ができる最小区間である合流のあるマンホールと小マンホール間、あるいは、2つの小マンホール間だけを塩水地下水浸入区間と見なした場合についても同様に算定した。

(2) 結果

末端下水管の塩水地下水浸入区間を調査する排水区として、**Table 9** における小緑幹線の鏡原 MH、安謝幹線の MH23、那覇幹線の MH17 の3排水区を選定した。選定した排水区内、鏡原 MH 排水区と MH17 排水区(合流のあるマンホール 14 箇所)では、末端下水管の一部の区間に塩水地下水浸入の可能性があることが分かった(**Table 10**, **Fig.23**)。他方、MH23 排水区では幹線部分を除いて末端で塩化物イオン濃度の高い区間は無かった。そのため、MH23 排水区は那覇処理区全体の算定には利用しないこととした。なお、合流のあるマンホール一箇所の計測時間は、10分程度であった。

合流のある2つのマンホール間を塩水地下水浸入区

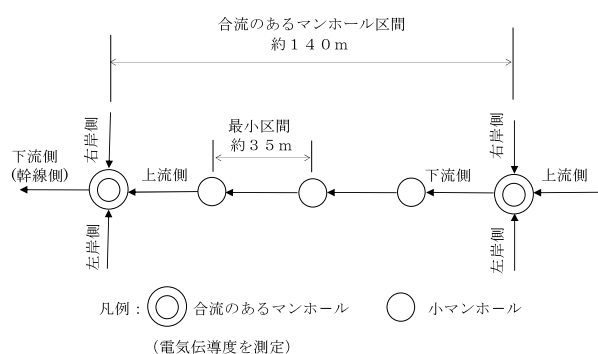


Fig.22 末端下水管とマンホールの模式図

Schematic diagram of branch sewer pipes and manholes

Table 10 MH17 地区の合流のあるマンホールの塩化物イオン濃度(2006 年 10 月)
Chloride ion concentration of manholes at confluences in the MH17 drainage zone

合流のある マンホール番号	上流側 塩化物イオン濃度 (mg/L)	右岸側 塩化物イオン濃度 (mg/L)	左岸側 塩化物イオン濃度 (mg/L)	下流側 塩化物イオン濃度 (mg/L)
1	1,589	76		1,770
2	0		2	0
3	0		0	0
4	8,222			7,714
5	13,230	0	807	7,328
6	643	690		702
7	0		17	6
8		46	316	206
9	702	190		466
10		847	4,158	2,450
11	測定不可	113		97
12	31			45
13	112			107
14	12,529	8,697		12,616

注) 測定不可とは、流量が微量で測定が出来なかったことである。

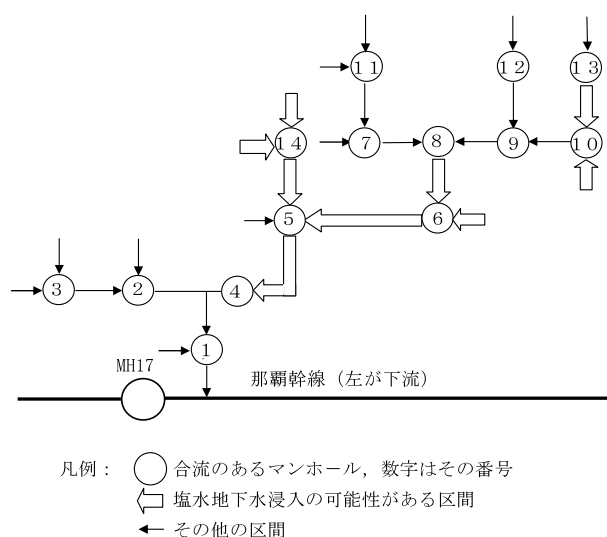


Fig.23 MH17 排水区の塩水地下水浸入の可能性のある末端下水管の区間
Branch sewer pipe sections with possibility of saline groundwater infiltration in the MH17 drainage zone

間と見なした場合については、鏡原 MH 排水区と MH17 排水区を合せた管更生区間長即ち塩水地下水浸入区間長は 2.3km となった。これは、鏡原 MH 排水区と MH17 排水区の海面下の末端下水管延長の 47% であった。また、那覇処理区全体では、鏡原 MH 排水区と MH17 排水区を合せた塩水地下水浸入量が 78.2m³/h であるのに対し、那覇処理区全体の塩水地下水浸入量が 543.6m³/h であるので、15.9km となった。

また、測定している 1～2 時間に生じた塩化物イオン濃度の変化(平均 1,000mg/L 程度)以内の濃度差を除いた

場合については、鏡原 MH 排水区と MH17 排水区を合わせた塩水地下水浸入区間長は 1.6km、那覇処理区全体では 10.8km となった。

さらに、測定している間に生じた塩化物イオン濃度の変化以内の濃度差を除くとともに、合流のあるマンホールと小マンホール間、あるいは、2つの小マンホール間だけを塩水地下水浸入区間と見なした場合については、鏡原 MH 排水区と MH17 排水区を合せた塩水地下水浸入区間長は 0.5km、那覇処理区全体では 3.2km となった。

c 管更生案の費用の算定と利用可能な下水流量の設定

(1) 方法

管更生案の費用については、末端下水管の大部分を占める直径 200～250mm の小口径管の単価を用いて必要な額を算定した。

利用可能な下水流量については、「沖縄県中部流域下水道事業計画変更認可申請書 H16」により、計画が完了する見込みの平成 40 年度の値を設定した。

(2) 結果

管更生案の費用については、小口径管の単価は 157 千円/m となり、これを用いると、塩水地下水浸入区間を合流のある 2つのマンホール間と見なした場合が 25.0 億円(15.9km 相当)、また、測定している間に生じた塩化物イオン濃度の変化以内の濃度差を除いた場合が 17.0 億円(10.8km 相当)、さらに、塩水地下水浸入区間を管更生ができる最小区間と見なした場合が 5.2 億円(3.2km 相当)となった。なお、事業完了後に破損が生じた場合は管更生の費用がさらに必要となる。

利用可能な下水流量については、20.4 万 m³/日となった。因みに現況は 12.7 万 m³/日である。

d 塩化物イオン濃度の低下の程度と安定性

(1) 方法

管更生案による低下後の塩化物イオン濃度については、末端下水管の塩水地下水浸入区間を調査した排水区における 200mg/L 以下の区間の塩化物イオン濃度について、下水流量を考慮した加重平均値を求めた。

下水の塩化物イオン濃度の安定性については、管更生を行った他地区の事例等から類推した。

(2) 結果

管更生案による低下後の下水の塩化物イオン濃度については、120mg/L 程度となった。なお、これは満潮時の値であること等から、一日の平均値は更に低くなると考えられる。

下水の塩化物イオン濃度は、沖縄県下水道管理事務所の維持管理年報等によると那覇浄化センター以外の沖縄県内3箇所の下水処理場における塩化物イオン濃度が 200mg/L 以下で推移していること、宜野湾浄化センターでは海水流入河川横断部の下水管の破損部で十年程前に行った管更生により塩化物イオン濃度が 4,000mg/L から 170mg/L に低下し安定していること、広島県呉市の新宮地区では十年程度前に行った 823m の管更生等により1日の海水浸入量が 840m³ から 70m³ に減少し安定していること(石崎, 2003), 兵庫県神戸市の中部処理区の塩化物イオン濃度の高いブロックでは数年前に行った管更生により海水浸入割合が 46% から 9% に減少し安定していること(大西, 2006 年度)等から、管更生により低下し、その後相当の期間大きく上昇する可能性が低いと考えた。

4 バイパス案

幹線下水管の塩化物イオン濃度と流量の測定により、塩化物イオン濃度は全地点で高いのではなく、小禄幹線と南風原幹線の塩化物イオン濃度が低いことが確認された。そのため、小禄幹線と南風原幹線の塩化物イオン濃度が低い下水のみを集めて処理するバイパス案を提案するとともに、費用の算定と利用可能な下水流量の設定、塩化物イオン濃度の低下の程度と安定性について検討した。

a バイパス案の概要

バイパス案は、那覇浄化センターの水处理が2つの系統から構成されていることに着目し、下水管の切り替えや接続等を行うことにより、塩化物イオン濃度が低い下水を1系処理系統に集め処理するものであり、次のケースを検討した。ケース1は、南風原幹線と小禄幹線の切り替えを行い、南風原幹線の下水だけを1系処理系統で処理するものである(Fig.25)。ケース2は、南風原幹線を小禄幹線に接続し、両幹線の下水を1系処理系統で処理するものである(Fig.24)。ケース3は、南風原幹線を直接1系処理系統に接続し、両幹線の下水を1系処理系統で処理するものである(Fig.26)。また、ケース2とケース3は、下水の塩化物イオン濃度が顕著に高い鏡原 MH 排水区の下水管を管更生することや(Fig.27)、鏡原 MH 排水区の下水だけを2系処理系統へ送ることも検討した。なお、下水管の接続、切り替え及び管更生は土地改良事業で下水道施設の形状を変更する前例の無い工事を行うものであり、V章で必要な制度的検討を行った。

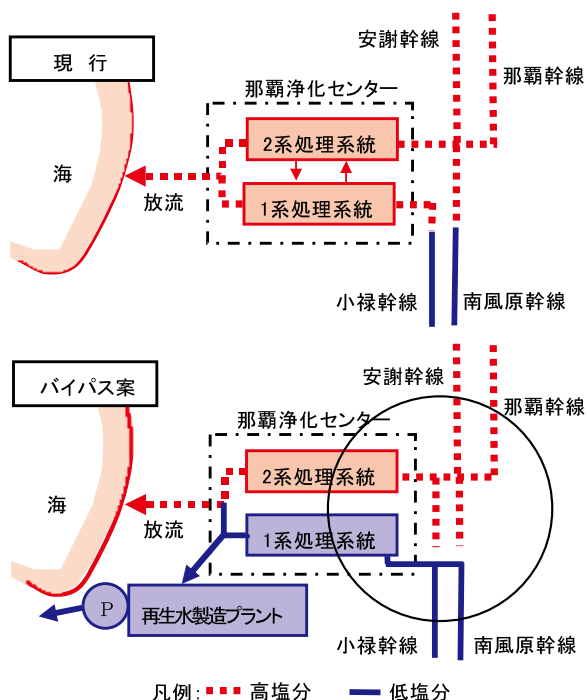


Fig.24 バイパス案(ケース2)の配管
Bypass piping arrangement (case 2)

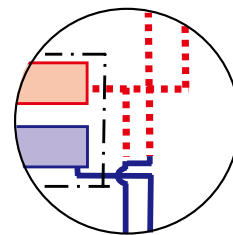


Fig.25 バイパス案(ケース1)の配管
Bypass piping arrangement (case 1)

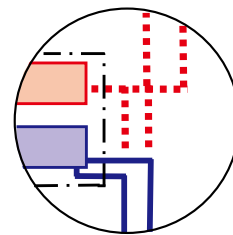


Fig.26 バイパス案(ケース3)の配管
Bypass piping arrangement (case 3)

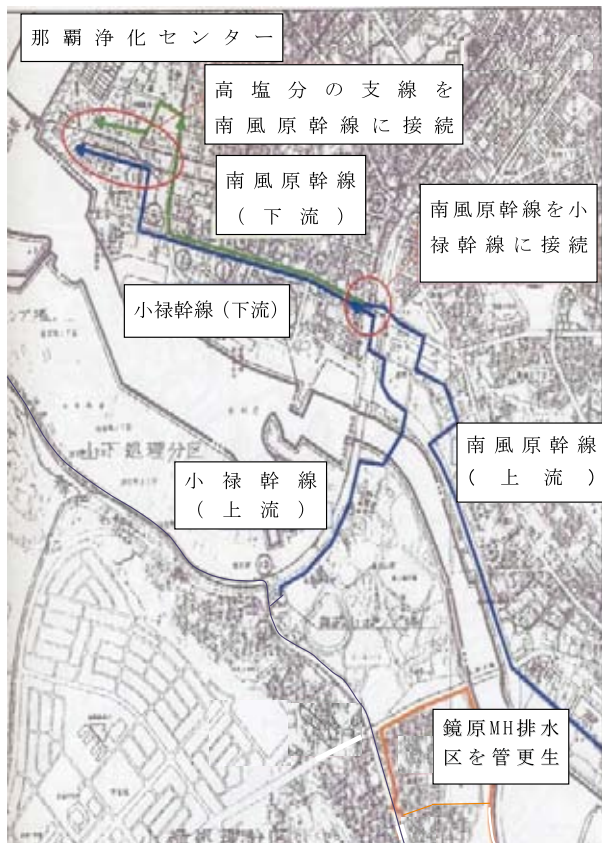


Fig.27 ケース2で鏡原MH排水区を管更生する場合の概要図
Conceptual map of rehabilitating pipes in Kyohara MH zone in case 2

b バイパス案の費用の算定と利用可能な下水流量の設定

(1) 方法

バイパス案の整備費については、バイパス設置や那覇浄化センター改修に係る下水管は「流域別下水道整備総合計画調査指針と解説 H11」の費用関数を参照し、マンホール等実績値を参考に算出した。

バイパス案の維持管理費については、鏡原MH排水区の下水を2系処理系統へ送る施設を「経済効果測定算定資料(維持管理費節減効果)S56」を参照し算出した。

利用可能な下水流量については、「沖縄県中部流域下

水道事業計画変更認可申請書 H16」の排水区別下水流量により計画が完了する見込みの平成40年度の値を設定した。

(2) 結果

バイパス案の整備費については、ケースの違いから2.3～13.3億円となったが、下水道側が廃止を考えていた1系ポンプ場の更新費を含む場合は更に13～17億円増加することとなる。

バイパス案の農業側の維持管理費については、鏡原MH排水区の下水を直接2系処理系統へ送る場合は300万円/年、他の場合は下水道管理者が下水道施設として管理するので無料となる。

利用可能な下水流量については、ケースの違いから5.2～7.8万 m^3 /日となった。なお、5.2万 m^3 /日はケース1の利用可能な下水流量であり、ケース1だけは農業用水の必要量6万 m^3 /日を満たしていない。今後受益面積が減る場合に、ケース1は採用できると考えられる(Table 11)。

c 塩化物イオン濃度の低下の程度と安定性

(1) 方法

バイパス案による低下後の下水の塩化物イオン濃度については、塩化物イオン濃度と下水流量の測定結果より算定した。その際、那覇浄化センターの滞留時間が概ね9時間、再生水製造プラントの滞留時間が概ね4時間、合わせて13時間であり、潮汐の1周期が概ね12時間であることを考慮し、大潮時の塩化物イオン濃度の平均値を用いた。

塩化物イオン濃度の安定性については、海面下の下水管の割合を考慮して検討した。

(2) 結果

低下後の下水の塩化物イオン濃度については、118～198 mg/L となった(Table 11)。

塩化物イオン濃度の安定性については、小禄幹線と南風原幹線に接続している末端下水管(計画されているものを含む)のうち、海面下となる下水管の割合が4.5%程度と僅かであることから、将来塩化物イオン濃度が上昇する可能性は極めて低いと考えた。

Table 11 バイパス案のケース別一覧(2006年10月)
Conditions and results various cases of bypass method

バイパス案のケース別概要	整備費 (億円)	維持管理費 (万円/年)	利用可能 下水流量 (万 m^3 /日)	低下後の 塩化物イオン濃度 (mg/L)
ケース1(南風原幹線と小禄幹線の切り替えを行い南風原幹線の下水を利用)	2.3	0	5.2	118
ケース2(南風原幹線を小禄幹線に接続し両幹線の下水を利用)	2.3	0	7.8	198
ケース2で鏡原MH排水区の下水管を管更生する場合	4.5	0	7.8	151
ケース2で鏡原MH排水区の下水を2系処理系統へ送る場合	6.7	300	7.6	153
ケース3(南風原幹線を直接1系処理系統に接続し両幹線の下水を利用)	9.0	0	7.8	198
ケース3で鏡原MH排水区の下水管を管更生する場合	11.1	0	7.8	151
ケース3で鏡原MH排水区の下水を2系処理系統へ送る場合	13.3	300	7.6	153

5 管更生案とバイパス案の比較

a 方法

整備費、維持管理費、低下後の塩化物イオン濃度、低下後の塩化物イオン濃度の安定性等について総合的に比較した。

b 結果

管更生案とバイパス案の検討結果を比較すると **Table 12** のとおりになった。整備費、利用可能な下水流量及び低下後の塩化物イオン濃度では優劣を判断できないが、管更生案は事業完了後の管更生費が農家負担になる可能性があることや、バイパス案は将来塩化物イオン濃度が上昇する可能性が管更生案よりも低いことから、バイパス案が適当と判断した。

Table 12 管更生案とバイパス案の比較結果
Comparison between rehabilitation method and bypass method

	管更生案	バイパス案
整備費	5 ～ 25 億円程度	2 ～ 30 億円程度
維持管理費（農業側）	将来の管更生費が農家負担になる可能性がある。	0 又は 300 万円 / 年程度
利用可能な下水流量	20.4 万 m ³ /日	5.2 ～ 7.8 万 m ³ /日
低下後の塩化物イオン濃度	200mg/L 以下	200mg/L 以下
低下後の塩化物イオン濃度の安定性	将来塩化物イオン濃度が上昇する可能性は低い、バイパス案と比べると高い。	将来塩化物イオン濃度が上昇する可能性は極めて低い。

6 塩分低下対策の指針

我が国の下水処理場には、海岸沿いの処理区域を含んでおり、下水処理水の塩化物イオン濃度が高いものが多く存在する。このような下水処理場を利用せざるを得ない場合を想定し、鳥尻地区の下水の塩分低下対策の検討を踏まえ、一般的に利用できる塩分低下対策の指針を、以下の①～⑦のとおりまとめた(**Fig.28**)。

なお、鳥尻地区では、那覇処理区に元々塩化物イオン濃度の低い幹線下水管があったことや那覇浄化センターの水処理が1系ポンプ場系統と2系ポンプ場系統に分かれていたことからバイパス案を採用したが、他地区では、利用しようとしている下水処理場の状況により管更生案を採用する場合もあると考えられる。

- ①下水処理場の処理系統、幹線下水管の塩化物イオン濃度及び下水流量をおおまかに調査する。
- ②下水処理場の処理系統を分けることができない場合は、管更生を検討する。その際、塩化物イオン濃度の測定は、塩水地下水浸入の影響が顕著に現れる大潮の満潮時に行う。

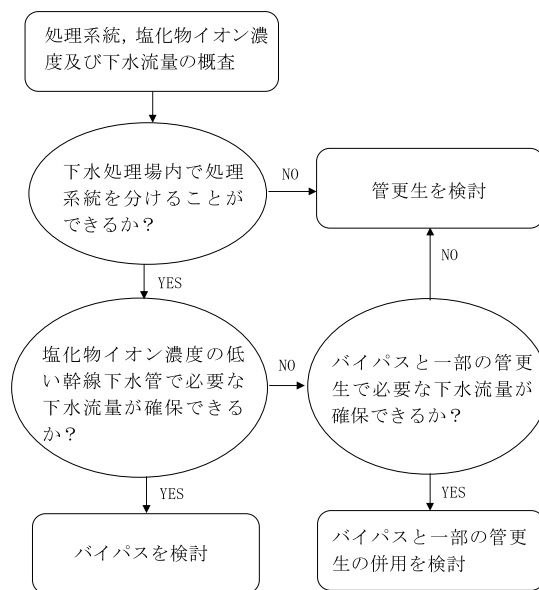


Fig.28 塩分低下対策の指針

Guideline for selecting measures to reduce chloride ion concentration

- ③下水処理場の処理系統を分けることができ、塩化物イオン濃度の低い幹線下水管に必要な下水流量が確保できる場合は、バイパスを検討する。その際、塩化物イオン濃度の測定は、平均値の算定に必要な大潮時の連続計測を行う。
- ④下水処理場の処理系統を分けることができ、塩化物イオン濃度の低い幹線下水管に必要な下水流量が確保できない場合で、バイパスと一部の管更生で必要な下水流量が確保できる場合は、バイパスと一部の管更生の併用を検討する。
- ⑤下水処理場の処理系統を分けることができ、塩化物イオン濃度の低い幹線下水管に必要な下水流量が確保できない場合で、バイパスと一部の管更生で必要な下水流量が確保できない場合は、管更生を検討する。
- ⑥管更生の実施区間を特定するには、マンホールの塩化物イオン濃度を電気伝導度計で測定し、区間をある程度絞った上でテレビカメラ等を用いた詳細調査を行う。
- ⑦下水処理水だけでは必要量が確保出来ない場合は、不足量を補う畑集水利用や送水量を平滑化するファームボンドの拡大等を検討する。

7 塩水地下水浸入区間長の推定手法

下水処理水の塩化物イオン濃度を下げるときの下水管の更生を土地改良事業の事業計画案に盛り込むには、まず工事費を概算する必要がある、そのためには下水管への塩水地下水浸入区間の総延長を簡易な方法で把握する必要がある。

他方、これまで下水道管理者により、地下水及び雨水の浸入を防止するために、浸入水量、浸入箇所、浸入原

因等を把握する調査が行われてきている(社団法人日本下水道協会, 1982)。しかしながら、塩水地下水浸入区間長の把握を目的とする調査は今まで行われていない。

そのため、管更生案の検討を踏まえ、一般的に利用出来る下水処理水の農業利用における下水管への塩水地下水浸入区間長の簡易な推定手法を、以下の①～④のとおりまとめた(Fig.29)。

- ① 幹線下水管について、海面下の下水管を含む末端下水管との接続点直下流のマノホール等における大潮の満潮時の電気伝導度を測定する。
- ② 海面下の末端下水管の延長に対し塩水地下水浸入による塩化物イオン負荷量の多い排水区を選定する。
- ③ 選定した排水区の合流のあるマノホールにおける大潮の満潮時の電気伝導度を測定し、合流のあるマノホール間に塩水地下水浸入が想定される場合は、合流のあるマノホールの間にある小マノホールについても測定し、塩水地下水浸入区間長を求める。
- ④ 選定した排水区の塩水地下水浸入量に対する全体の塩水地下水浸入量の比率により、全体の塩水地下水浸入区間長を算定する

この塩水地下水浸入区間長推定手法の長所としては、①簡易な方法で素早く結果を得ることが出来る、②テレビカメラ等による詳細調査の作業量の目処を付けることが出来る、等が考えられる。また、短所としては、マノホール全てを測定しないので精度が低い、等が考えられる。

推定を行った後は、①推定を行う際に明らかとなる塩水地下水浸入のある全ての排水区で、合流のあるマノホールと小マノホールについて調査し、塩水地下水浸入区間を特定する、②その後、テレビカメラ等による詳細調査を行う等とした。

沖縄のように水資源が少ない条件では、限りある水資源を有効に活用する水循環社会の形成が強く求められている。下水処理水を農業用水として利用することは、他に新たな水資源を開発できない沖縄本島南部地域において有効な循環的水利用である。下水である限り、地下水

面下の下水管に塩水地下水が浸入しても大きな問題ではないが、この処理水を農業用水として利用するには大問題であり、塩水地下水浸入を防ぐことが大きなコストを要する課題である。ここでは、下水処理水を農業用水として利用するために、下水の塩分低下対策として島尻地区で検討した塩水地下水浸入区間長即ち下水管の管更生区間長を推定する手法を踏まえ、一般的に利用出来る塩水地下水浸入区間長の推定手法をまとめた。

V 農業外の管理施設の形状を農業側が変更するための制度

1 検討の目的と方法

島尻地区で下水の塩分低下対策を技術的に検討したところ、排水経路の変更により塩化物イオン濃度が低い下水のみを集めて処理するバイパス案が適当との結論を得た。

しかしながら、バイパス案(鏡原 MH 排水区の下水を2系処理系統へ送る施設は除く)は県や市が管理する下水道施設の形状を変更する工事を行うものであり、このような工事を土地改良事業で行った例は見当たらない。また、工事のための制度も明らかで無い。他方、河川管理施設の形状を変更する工事を国営土地改良事業で行った例はあり、また、工事のための制度も明らかで、通達等に具体的な記述も見られる。

そのため、まず、下水道の関係機関の意見を把握した上で、利害得失を踏まえ、工事主体と工事費負担、管理主体と維持管理費負担等、制度検討の前提条件を明らかにすることを試みた。次に、下水道施設即ち農業外の管理施設の形状を変更するバイパス案の工事と類似の事例として、農業側が行った河川の拡幅工事について、法解釈の観点から分析した。更に、類似の事例に係る河川法の適用方法について明らかにするとともに、類似の下水道法の条文等を抽出した。これらを踏まえ、下水道法の適用について類推し、バイパス案の工事のための制度について検討した。また、土地改良の用排水事業は、河川等の農業外の管理施設を利用することが多いため、今後も農業外の管理施設の形状を変更する工事が行われると考えられる。そのため、バイパス案の工事のための制度の検討を踏まえ、農業外の管理施設の形状を農業側が変更するための一般的に利用できる制度の検討手順をまとめた。

2 河川管理施設の形状を変更した事例

土地改良事業において農業外の管理施設の形状を変更した類似の事例としては、排水事業に伴って排水河川の拡幅を農業側の負担で行う事例が見られる。多くの場合、農業側が設置する排水機場の下流側の拡幅であるが、国営両総農業水利事業と国営大根農業水利事業は、排水機場の上流側河川の拡幅を農業側が行った数少ない事例

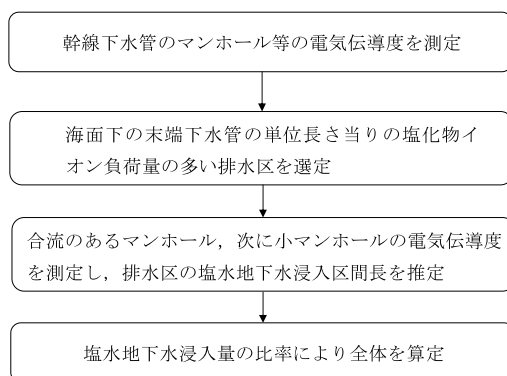


Fig.29 塩水地下水浸入区間長の推定手法

Method of estimating the lengths of saline groundwater infiltration sections

である。今回の下水処理水再利用の場合も、上流側を変更する工事であることから、比較のために検討した。

国営両総農業水利事業については、水田の湛水被害を防ぐとともに汎用化を進めるために、排水改良を行う必要があり、排水機場の能力向上に併せて上流側の大須賀川と八間川における排水能力向上のための拡幅が行われている(**Fig.30**)。なお、大須賀川と八間川は県管理の二級河川であるが、河川側には速やかに拡幅を行う予定は無かった。

国営大和根農業水利事業については、水田の汎用化を進めるために、排水改良を行う必要があり、排水機場の設置と併せて上流側の新川における排水能力向上のための拡幅が行われている(**Fig.31**)。なお、新川は県管理の二級河川であるが、河川側には速やかに拡幅を行う予定は無かった。

何れにしても、河川側には速やかに拡幅を行う必要性は無く、農業側が、農業上の目的を持って河川管理施設の形状を変更している。

3 バイパス案の工事のための制度の検討

下水道側の意見の把握等を行い前提条件を明確にした上で、農業外の管理施設の形状を変更する類似の事例と

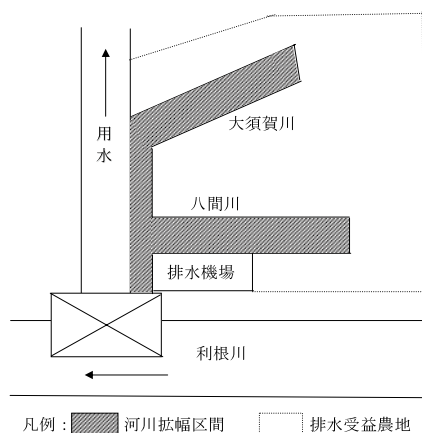


Fig.30 大須賀川及び八間川拡幅模式図
Sketch of broadening of Osuga river and Hakken river

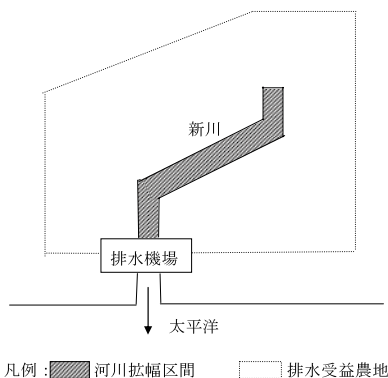


Fig.31 新川拡幅模式図
Sketch of broadening of Shin river

関係法令等を分析し、制度の検討を行った。

a 前提条件の明確化

バイパス案に係る工事について、下水道側と協議したところ、「下水処理水の塩化物イオン濃度が高いことは、放流先が海であることから問題では無い。そのため、現時点においてバイパス案に係る工事を行う理由はない。また、バイパス案で設置される施設は、維持管理費の増分が無いことから、下水道施設として一体的に管理したい。」との下水道側の意見が示された。

他方、農業側としては、バイパス案で設置される施設は、農業に必要な水量とともに水質を確保するために不可欠であること、また、計画基準「農業用水(畑)」にも「必要に応じて、水質、水温の改良措置を検討する」と記述されていることから、土地改良事業で整備できると考えられる(農林水産省構造改善局(1997))。

これらのことから、工事主体と工事費負担については、バイパス案は農業に必要な水量とともに水質を確保することを目的としていること、下水道側には現時点でバイパス案の工事を行う必要性が無く兼用工作物の工事とする理由が無いことから、原因者である農業側が工事費を負担し設置すべきものである。

また、管理主体と維持管理費負担については、バイパス案で設置される施設はその主たる機能が下水道施設としての機能であること、下水道側が下水道施設として一体的に管理することが効率的であること、維持管理費の増分が無いことから、下水道側が下水道施設として維持管理費を負担して管理すべきものである。

b 農業外の管理施設の形状を変更する関係法令

河川管理施設に係る河川法も下水道施設に係る下水道法も国土交通省の所管する法律である。

国営両総農業水利事業と国営大和根農業水利事業の河川拡幅の事例については、バイパス案と工事の内容は異なるものの、法解釈上の観点からは、農業上の目的を持って農業外の管理施設の形状を農業側が変更する点でバイパス案と同様である。また、これらの河川拡幅は、何れも補償工事として実施され、造成された施設が河川管理施設となっていることから、河川法第20条(河川管理者以外の者の施行する工事)に定める管理者の承認を得て行う工事で、当該承認条件が河川法第18条に定める工事と同趣旨により行う工事として実施されていると解釈できる。実際、協議に携った農業側の担当者によれば、そのように判断し当事者間の合意が得られたとのことである。

他方、下水道法において河川法第20条と類似の条項は下水道法第16条(公共下水道管理者以外の者の行う工事)であり、公共下水道管理者の承認を受けて、公共下水道の施設に関する工事を行うことができるとされている。なお、下水道法第16条の規定は、下水道法第25条の10により、小緑幹線や南風原幹線等の流域下水道について準用できる(**Table 13**)。

Table 13 関係法令等の内容
Excerpt of relevant laws and regulations

関係法令等	内 容
国営土地改良事業に伴う補償工事に関する事務処理について(S 63,2,23 付け、構造改善局建設部設計課長通達、関係部分のみ抜粋)	(補償工事の範囲) 「補償工事」とは、次に掲げる工事を言うものとする。 河川法第 20 条(河川管理者以外の者の施工する工事)に定める管理者の承認を得て行う工事で、当該承認の条件が河川法第 18 条に定める工事と同趣旨により行う工事
河川法(関係部分のみ抜粋)	(工事原因者の工事の施行等) 第 18 条 河川管理者は、河川工事以外の工事(以下「他の工事」という。)又は河川を損傷し、若しくは汚損した行為若しくは河川の現状を変更する必要を生じさせた行為(以下「他の行為」という。)によって必要を生じた河川工事又は河川の維持を当該他の工事の施工者又は当該他の行為の行為者に行わせることができる。 (河川管理者以外の者の施行する工事等) 第 20 条 河川管理者以外の者は、第 11 条、第 16 条の 3 第 1 項、第 17 条第 1 項及び第 18 条の規定による場合のほか、あらかじめ、政令で定めるところにより河川管理者の承認を受けて、河川工事又は河川の維持を行うことができる。ただし、政令で定める軽易なものについては、河川管理者の承認を受けることを要しない。
下水道法(関係部分のみ抜粋)	(公共下水道管理者以外の者の行う工事等) 第 16 条 公共下水道管理者以外の者は、公共下水道管理者の承認を受けて、公共下水道の施設に関する工事又は公共下水道の施設の維持を行うことができる。ただし、公共下水道の施設の維持で政令で定める軽微なものについては、承認を得ることを要しない。 (準用規定) 第 25 条の 10 第 7 条、第 8 条、第 11 条の 2、第 12 条から第 12 条の 9 まで、第 12 条の 11 から第 13 条まで、第 15 条から第 18 条の 2 まで、第 21 条から第 23 条まで及び第 25 条の規定は、流域下水道(雨水流域下水道を除く。)について準用する。

c 制度の検討

以上のことから、国営両総農業水利事業と国営大利根農業水利事業では、「河川工事以外の工事である、受益地の排水を改良するための排水機場等の工事によって必要を生じた河川工事として、排水機場の上流側にある河川の流下能力を上げるための拡幅工事を、農業側で実施している」と解釈できる。

同様に、バイパス案に河川法第 20 条と類似の下水道法第 16 条を適用する場合は、「下水道工事以外の工事である、下水処理水を再処理して農業用水として利用するための再生水製造プラント等の工事によって必要を生じた下水道工事として、農業に必要な水量とともに水質を確保するための下水管の配管の変更や管更生を行う等の工事を、土地改良事業で実施できる」と類推できる。

これらのことから、バイパス案は、下水道法第 16 条に基づき公共下水道管理者以外の者の行う補償工事として土地改良事業で実施すべきものである。

4 農業外の管理施設の形状を農業側が変更するための制度の検討手順

島尻地区におけるバイパス案の工事のための制度の検討を踏まえ、通達等に記述のない農業外の管理施設の形状を農業側が変更するための一般的に利用できる制度の検討手順を、以下の①～⑦のとおりまとめた(Fig.32)。

- ①農業側の考えについて、農業外の施設管理者と協議して意見を把握し、制度検討の前提条件を明確にする。
- ②工事が農業外の施設管理者にも便益をもたらし、農

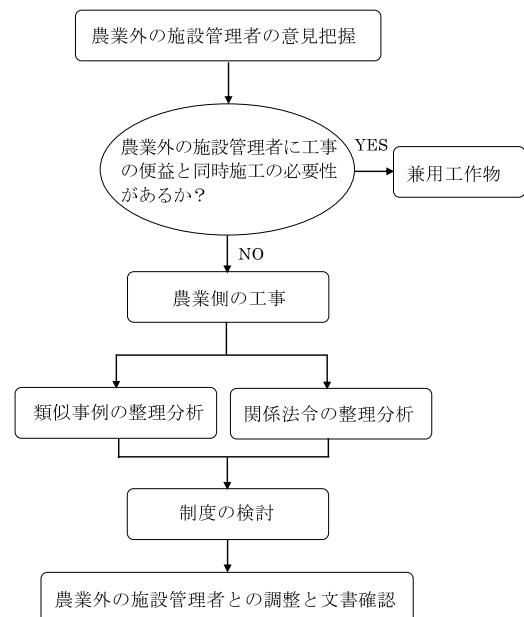


Fig.32 農業外の管理施設の形状を農業側が変更するための制度の検討手順

Considering procedure of institutional matters relevant to modification of shapes of non-agricultural facility to be implemented by agricultural side

業外の施設管理者が同時に工事を行う必要がある場合は、兼用工作物とする。

- ③工事が農業外の施設管理者に便益をもたらさないか、農業外の施設管理者が同時に工事を行う必要性が無い場合は、原因者である農業側が工事を行う。
- ④通達等に記述のある農業外の管理施設の形状を農業

側が変更した類似の事例について、法解釈の観点から整理分析する。

- ⑤関係法令の整理分析を行う。
- ⑥これらを踏まえ、農業外の管理施設の形状を農業側が変更するための制度の検討を行う。
- ⑦工事の諸元、施設の帰属、工事費や維持管理費の負担、農業利用の権利保障、事故発生時の対応、等について農業外の施設管理者と調整し予め文書で確認する。

Ⅵ 高塩分時に対応する営農方法と再生水製造プラントの管理

1 高塩分時に対応する営農方法

塩化物イオン濃度が高い下水処理水の農業用水としての利用は、農作物の生育に支障があると考えられる。

このため、塩水生育試験により農作物への影響を明らかにするとともに、塩化物イオン濃度の低下目標の確認、栽培上の留意点、除塩対策及び下水処理水の取水方法の検討を行った。また、これらの結果を踏まえ、高塩分時に対応する営農方法の指針をまとめた。

a 塩水生育試験

(1) 方法

塩水生育試験は、島尻地区の主要作物について、塩化

物イオン濃度の高い農業用水の使用を想定した生育試験を行うことにより、作物の耐塩性を明らかにするものである。

試験項目と内容は次のとおりである。

- ・発芽率：試験開始後一定期間内に発芽した本数を調査した。
- ・生存率：試験開始後一定期間後に生存している苗の本数を調査した。
- ・苗 質：茎頂から株下までの長さ(草丈)、出葉している数(葉数)、葉の大きさ(葉長、葉幅)、地上部の重さ(1本重)、葉等の緑色の度合い(葉色)の調査を行った。

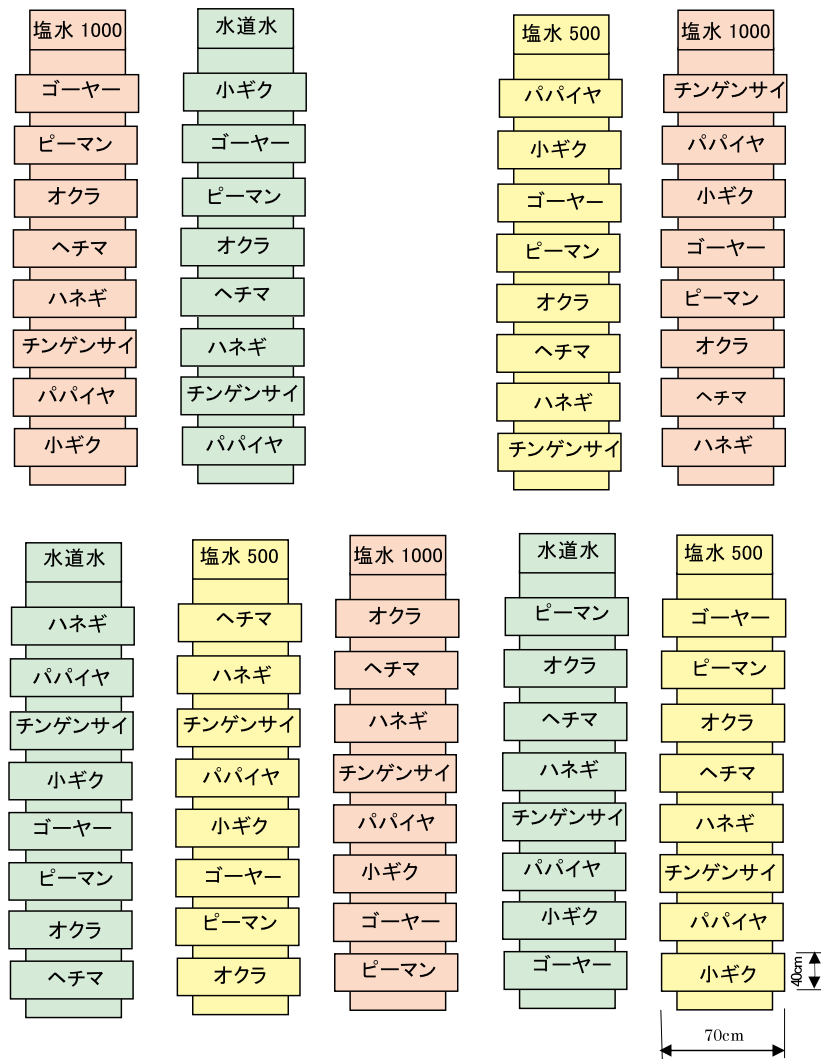
塩水生育試験は、降雨の影響を避け塩分の影響のみを把握するため、ハウスで行うこととした。また、使用する用水については、下水処理水の塩化物イオン濃度が高い時期の1000mg/Lと年間の平均程度である500mg/Lの塩水と比較対照用の水道水とした。

対象作物は、島尻地区において多く作付けされていることや、地域の振興作物(拠点産地、重点振興品目)であることを勘案し選定した。また、試験期間は、作物の作付け期間を考慮し、下記の2期に分けて実施した(Table14)。塩水生育試験の配置は、Fig.33のとおりである。

- ・第1期：平成18年7月～8月

Table14 島尻地区塩水生育試験対象作物(2006年)
Object crops of saline water growth test in Shimajiri District

作物名	第一期 (7～8月)	第二期 (9～12月)	選定理由		
			南部重点 振興品目	拠点産地	栽培面積 (推定 ha)
果 菜 類	ゴーヤー	○	○	糸満市 南城市	86
	ピーマン	○	○		6
	オクラ	○	○		29
	ヘチマ	○			42
	サヤインゲン	○	○	南城市	20
	トマト	○	○		
	カボチャ	○	○	南風原町	
	トウガン	○			
葉 菜 類	レタス	○	○	糸満市	15
	ハネギ	○			8
	チンゲンサイ	○			88
	キャベツ	○			
	ニガナ	○			
根 菜 類	ホウレンソウ	○			
	カンショ	○			25
果 樹	パパイヤ	○	○	豊見城市	48
	マンゴー	○	○	豊見城市	46
花 き	小ギク	○	○	糸満市 八重瀬町	4
対象作物数計		8	10	合計	18品目



※ 塩水500, 塩水1000は、それぞれ塩化物イオン濃度500mg/Lと1000mg/Lの塩水を示している。

Fig.33 塩水生育試験の作物の配置(第1期の例)
Crop arrangement of saline water growth test (an example of the 1st stage)

・第2期：平成18年9月～12月

また、塩化物イオン濃度の低下目標については、塩水生育試験の結果を島尻地区の農業関係機関に説明し意見を聞くとともに、下水の塩分低下対策の検討結果、沖縄本島南部地区の塩化物イオン濃度の低下目標等を考慮し確認した。

(2) 結果

試験結果の概要は次のとおりである。

・発芽率

塩化物イオン濃度が高くなると発芽率は、ゴーヤーが72.2%から37.8%に、ハネギが53.1%から36.5%に、パパイアが87.7%から54.7%に低下する等影響がでた(Fig.34)。ピーマン、オクラ、ヘチマ等では塩化物イオン濃度の違いによる発芽率に差は見られなかった。

・生存率

塩化物イオン濃度が高くなると生存率は、ハネギが98.5%から66.5%に、パパイアが99.2%から6.8%に、サヤインゲンが96.1%から0%に低下する等影響がでた

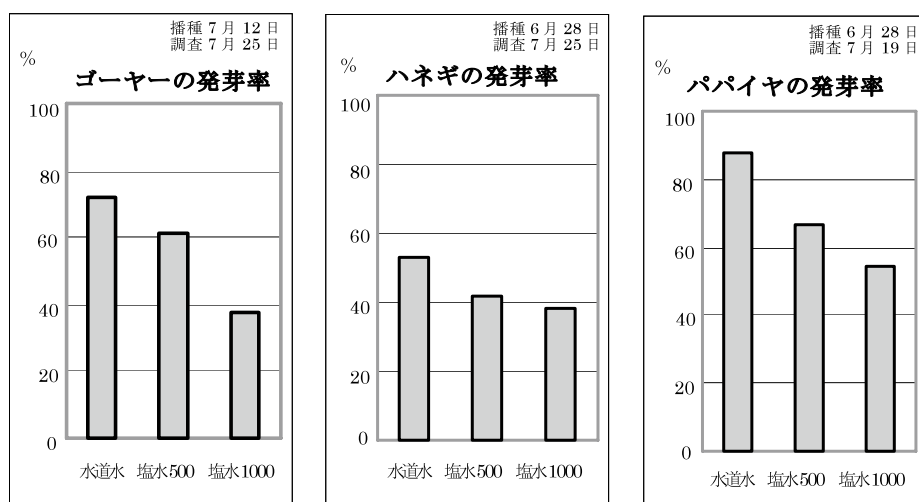
(Fig.35)。

・苗 質

塩化物イオン濃度が高くなると、ゴーヤーの一本重が4.3gから2.7gに、ヘチマの葉長が6.1cmから4.9cmに、チンゲンサイの草丈が5.8cmから4.2cmに減少する等影響がでた(Fig.36)。一方、ニガナやハウレンソウのように1本重が重くなる傾向があるものもあった。またマンガーでは株下かん水による調査を行ったところ、生育に差は見られなかったが、塩水が茎葉に付着すると葉焼け等を起こした。

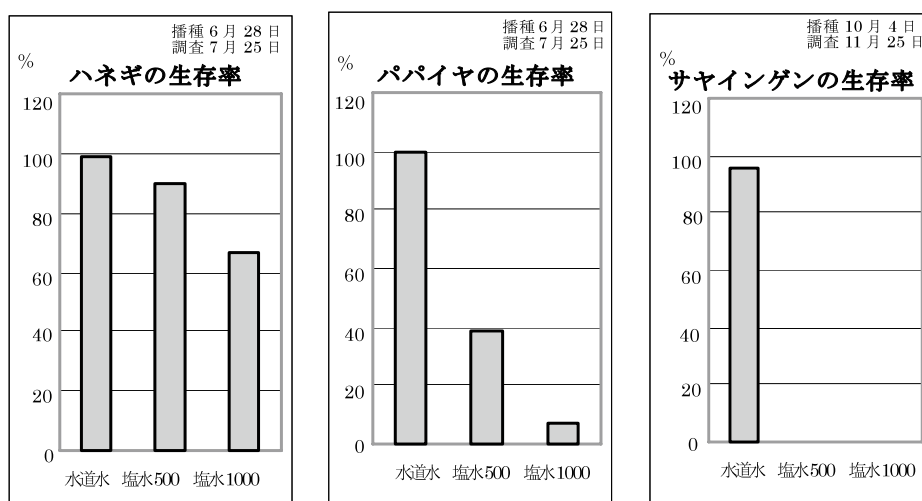
塩水生育試験の状況は、Fig.37のとおりである。なお、塩水生育試験では、ハウス内の高温・乾燥状態の下で、育苗トレイという限られた量の用土を使用したため、一般的な営農に見られる栽培と比較して厳しい生育条件下にあり、塩分の影響が大きくでているものと推測される。

塩化物イオン濃度の低下目標については、島尻地区の農業関係機関等からは、農家の了解を得るには、やはり塩化物イオン濃度を出来るだけ下げる必要がある旨の意



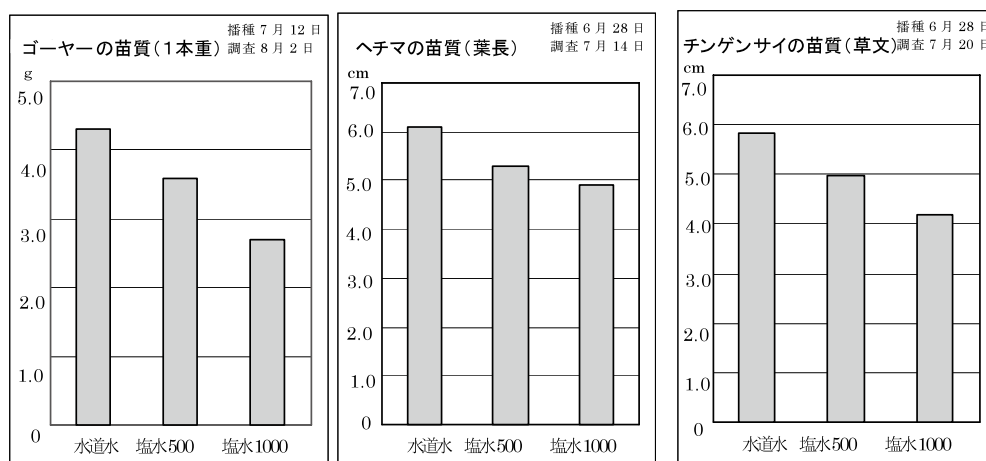
※ 塩水500, 塩水1000は、それぞれ塩化物イオン濃度500mg/Lと1000mg/Lの塩水を示している。

Fig.34 ゴーヤー, ハネギ, パパイアの発芽率(2006年)
Germination rate of bitter gourd, spring onion and papaya



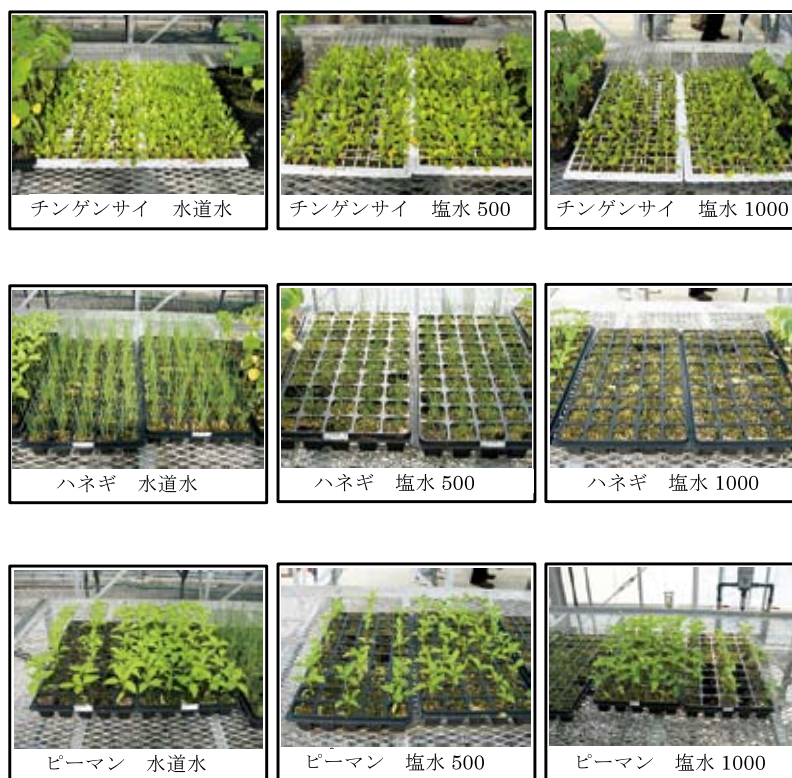
※ 塩水500, 塩水1000は、それぞれ塩化物イオン濃度500mg/Lと1000mg/Lの塩水を示している。

Fig.35 ハネギ, パパイア, サヤインゲンの生存率(2006年)
Survival rate of spring onion, papaya and string bean



※ 塩水500, 塩水1000は、それぞれ塩化物イオン濃度500mg/Lと1000mg/Lの塩水を示している。

Fig.36 ゴーヤー, ヘチマ, チンゲンサイの苗質(2006年)
Quality of seedlings of bitter gourd, sponge gourd and bok choy



※ 塩水 500, 塩水 1000 は、それぞれ塩化物イオン濃度 500mg/L と 1000mg/L の塩水を示している。

Fig.37 塩水生育試験の状況 (2006 年)
Situation of saline water growth test

見が示された。

また、下水の塩分低下対策により農家負担に殆ど影響無しに塩化物イオン濃度を 200mg/L 以下に下げることが出来ることや、沖縄本島南部地区の「塩水管理マニュアル」の許容塩化物イオン濃度が 200mg/L 以下とされていることも考慮し、再生水の塩化物イオン濃度の低下目標を 200mg/L 以下にすることを確認した。

b 栽培上の留意点

(1) 方法

塩水生育試験の結果によると、塩化物イオン濃度 500 ~ 1,000mg/L では、島尻地区の主要作物に支障があることが示唆された。他方、下水の塩分低下対策の検討で塩分を充分低下できる見込みとなった。これらのことから、再生水が作物に影響のない塩化物イオン濃度で通常時は管理されている状態を前提として、下水管の破損事故により、放流水の塩化物イオン濃度が上昇する場合に想定される留意点について検討した。

(2) 結果

塩水生育試験の結果や既存の調査結果を踏まえた、島尻地区主要作物の耐塩性の強弱の傾向は、Table 15 のとおりである。

塩化物イオン濃度上昇時の対応については、下水管の破損事故により、下水処理水の塩化物イオン濃度が上昇し、かつ復旧に時間を要する場合で塩化物イオン濃度が比較的安定している場合には、塩化物イオン濃度と作物

Table 15 島尻地区主要作物の耐塩性
Salinity tolerance of major crops of Shimajiri District

作物名		耐塩性			
		強	中	弱	備考
工芸作物	サトウキビ	○			②
葉菜類	レタス		○		①
	キャベツ	○			①
	ホウレンソウ	○			①
	チンゲンサイ	○			①
	ネギ			○	①
	ニガナ	○			①
	サントウサイ			○	③
果菜類	ピーマン		○		①
	トマト	○			①
	キュウリ	○			③
	ゴーヤー		○		①
	サヤインゲン			○	①
	ナス			○	②
	オクラ		○		①
	ヘチマ		○		①
	トウガン	○			①
	カボチャ			○	①
根菜類	カンショ			○	①
花き類	キク	○			①
果樹類	マンゴー	○			①
	パパイヤ			○	①

①塩水生育試験

②「かんがい水中の塩分濃度が、さとうきびに及ぼす影響並びに、畑地かんがい諸元調査報告書」(S53.3 沖縄総合事務局)

③「野菜類に対する塩水かんがい試験」(S58 沖縄県農業試験場)

の耐塩性を考慮し、作付けする作物を制限する等の条件を周知徹底した上で、復旧までの間に再生水を供給することが考えられる。この場合でも耐塩性の弱い作物では、上水、河川水、雨水等の利用や併用が必要となる。

地上部への影響については、塩水かんがいによる作物への支障は土壤溶液の塩化物イオン濃度が上昇することによる地下部からの影響のほか、茎葉に付着した塩水による地上部からの影響があり、本調査においてもマンガーにおいて根元への塩水のかん水では影響は見られないものの、茎葉へ同濃度のかん水が付着することによる地上部への影響が見られた。このような作物では、根元かん水を行うことが望ましい。

生育ステージの違いについては、パパイヤにおいて発芽直後の苗は枯死したが、ある程度生育したものは影響が少なく、枯死することはなかった。このような耐塩性が弱い生育ステージにおいては、一時的な高塩分時に給水車等により、上水、河川水等別の水源を用いることが望ましい。

c 除塩対策

(1) 方法

施設栽培では降雨による土壤中の塩分の溶脱がないため、土壤の塩分濃度が上昇することが明らかとなっている。ここでは、長期の施設栽培を想定し、土壤の除塩対策について検討する。

(2) 結果

島尻地区において想定される除塩対策の概要は **Table 16** のとおりであり、ハウスのビニールの除去等を行う

こととした。

なお、塩害の回避対策には、耕土への塩分の投下量を抑える方法と集積した塩分を物理的に圃場から持ち出す方法があるが、営農方法や作付け体系、土壤条件、メリット・デメリットを勘案し、適切な除塩方法を採用することが必要である。

d 下水処理水の取水方法

(1) 方法

下水処理水の農業利用に当たっては、下水処理水の塩化物イオン濃度が高いことが問題となったが、塩化物イオン濃度の低い小禄幹線と南風原幹線の下水を分離して処理するバイパス案を採用することで、塩化物イオン濃度が 200mg/L 以下の再生水を安定して供給できることが技術的に確認された。

一方、小禄幹線と南風原幹線に接続する末端下水管のうち海面下となるものは僅かであるものの一部含まれていることから、これらに破損事故が発生した場合、塩水地下水浸入が生じることを完全には否定できない。

これらのことから、塩水生育試験結果を踏まえ、塩化物イオン濃度が上昇した場合の下水処理水の取水方法を検討した。

(2) 結果

塩化物イオン濃度が 200mg/L を超える農業用水が供給されないよう、再生水の継続計測(自動監視)を行い、その結果を利用して、下水処理水の取水を制限することとした。

具体的には、自動計測が可能であること、塩化物イオ

Table 16 島尻地区において想定される除塩対策の概要(2006年)
Overview of conceivable salinity decrease measures in Shimajiri District

対策名	対策の概要	メリット	デメリット	島尻地区への適用性 (留意事項)
1. クリーニング ロップ	イネ科の牧草を作付けし、茎葉を外部に持ち出し、土壤の塩化物イオン濃度を低下させる。	作業が比較的容易であり、かつ経費も低い。	効果が小さく、多くの塩類の除去を期待出来ない。またクリーニングクロープ作付け中は収益性の作物の作付けが出来ない。	本地区内では畜産経営が少なく、茎葉の処分方法の検討が必要
2. 深耕・天地返し	塩分の蓄積がある表層部と深層部の土を入れ替又は混和させる。	効果は大きい。	根本的な塩類除去とはならず、時間の経過とともに塩類は蓄積される。また作業負担が大きい。	—
3. 有機物の施用	低成分堆肥や低 Na, 低 Cl の有機物を施用することにより、根域の拡大と土壤の緩衝力の向上を図り、作物への塩分の影響を低下させる。	作業は容易であり、また土壤物理性の改善が期待できる。	低成分堆肥の確保が必要であり、また効果は小さい。	—
4. 塩素を含まない 肥料の利用	塩素を含まない肥料を活用することにより、畑への塩類の投入を抑える。	作業は容易である。	肥料の確保が必要であり、効果も小さい。	—
5. 表土の入替え	塩分の蓄積した表土を取り除き客土する。	多くの塩類の除去が期待出来る。連作障害の回避も期待出来る。	作業負担や経費負担が大きく、客土の確保が必要。	—
6. ビニール除去	ハウスのビニールを除き耕土を雨水にあて、土壤中の塩分の溶脱を図る。	多くの塩類の除去が期待できる。	耐風性施設のビニール除去・再被覆の経費負担が大きい。	—

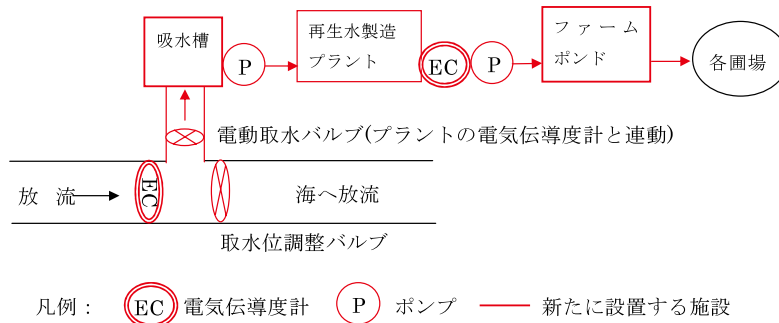


Fig.38 取水方法のイメージ
Schematic diagram of water intake

ン濃度との相関が高いことから、再生水の電気伝導度の計測を継続し、その計測結果が $1,086 \mu\text{S}/\text{cm}$ (これまでの実験で、塩化物イオン濃度 $200\text{mg}/\text{L}$ に相当することが確認されている) を超えた場合は、自動的に電動取水バルブを閉じて、下水処理水を取水しないようにする。取水方法のイメージは、Fig.38 のとおりである。

e 高塩分時に対応する営農方法の指針

(1) 方法

島尻地区では下水の塩分低下対策により作物の栽培上支障のない値まで塩化物イオン濃度を下げることができると見込みであるが、他地区では下水の塩分低下対策を行っても十分に塩化物イオン濃度が低下しない場合も有ると考えられる。

そのため、島尻地区の検討を踏まえ、このような場合も含めて一般的に利用できる高塩分時に対応する営農方法の指針をまとめた。なお、この指針は、街路樹等への利用にも応用出来る内容を含んでいると思われる。

(2) 結果

高塩分時に対応する営農方法の指針としては、まず下水の塩分低下対策による塩化物イオン濃度の低下の程度を明らかにし、十分に塩化物イオン濃度が低下する場合は下水管の破損事故で塩化物イオン濃度が急に上昇したときに作付け作物の制限、除塩対策等を行う。他方、充

分に塩化物イオン濃度が低下しない場合は通常時の営農計画も高い塩化物イオン濃度で可能なものに変更する (Fig.39)。

2 再生水製造プラントの管理

再生水製造プラントの管理の方針を明らかにするため、先行事例、機能的に似ている浄水場や農業集落排水施設等を参考の上、通常時と塩分上昇時等について検討した。

a 先行事例

先行事例として平成 20 年 1 月 15 日に香川県多度津町から聞き取った、再生水製造プラントの管理状況等は、次のとおりである。

- ①再生水製造プラントで製造する再生水は日最大 $10,000\text{m}^3$ であるが、そのうち $2,000\text{m}^3$ を農業用水に、 $8,000\text{m}^3$ を河川維持用水や修景用水等に利用。
- ②農業用水としての再生水は、6～9 月に 375ha の水田(稲作)に供給。
- ③再生水製造プラントは、日常管理と巡回管理を組み合わせた無人管理。
- ④日常管理は、管理者が毎日朝夕に機械の運転状況やゴミが詰まっていないか等を確認し日報に記入。
- ⑤水環境処理施設の管理業務は、町が浄化施設や下水処理施設の管理をしている業者に一括発注。
- ⑥巡回管理は、管理者が月 1 回の頻度で水質検査等を行っており、検査項目は 7 項目 (PH, BOD, COD, SS, 大腸菌群数, 窒素含有量, 磷含有量)。
- ⑦水質や機械の異常は、管理者や町役場のパソコンに表示されるとともに、担当者の携帯電話にも連絡。
- ⑧水質の悪化や機械の故障等の事故発生時には、下水道側の判断で送水を停止し、水利組合等に状況や復旧の時期を連絡。
- ⑨ため池の水位や水路の流量、ポンプ運転等の情報の連絡は、インターネット(パケット通信)を利用。また、遠方監視システムにより、管理者や役場のパソコンからも情報を把握。
- ⑩渇水や水質悪化等が発生した場合は、水利組合が集まって対応策を決定。

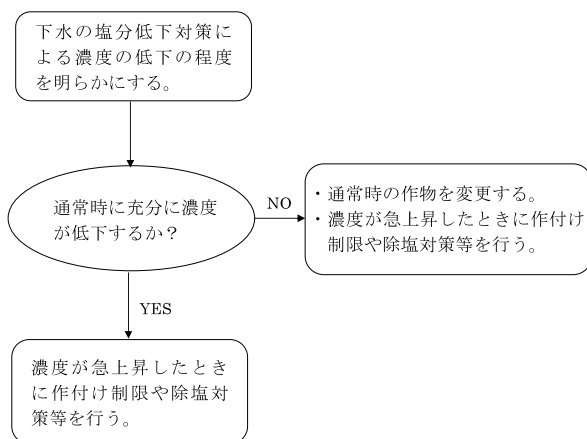


Fig.39 高塩分時に対応する営農方法の指針
Guideline of farming method to cope with high salinity

b 通常時の管理

(1) 基本的な考え方

- ①再生水製造プラントは、浄水場と同様の処理工程を有する施設であるが、再生水を直接人が飲むことは無いので、常駐管理を行っている浄水場ほどの厳密な管理は必要無いと考えられる。
- ②他方、農業集落排水施設の目的は、農業用水の水質等を確保するもので、再生水製造プラントの目的と同様である。また、その管理は、日常管理と巡回管理を組み合わせた無人管理である。なお、農業集落排水施設の処理は、生物処理であり、化学処理を行う浄水場より技術的に不安定要因は多い。
- ③香川県多度津町の再生水製造施設である水環境処理施設の管理は、遠方監視を伴った、日常管理と巡回管理を組み合わせた無人管理であり、町が浄水施設や下水処理施設の管理をしている業者に一括発注している。
- ④以上のことから、再生水製造プラントの管理は、遠方監視を行いながら、毎日施設の状況を目視するとともに大腸菌群の検査等を行う日常管理と、定期的に保守点検(再生水製造プラントの管理に必要な項目の水質調査を含む)を行う巡回管理を組み合わせた無人管理が適当と考えられる。なお、大腸菌群の検査と巡回管理は、那覇浄化センターの管理をしている業者に委託することが経済的と考えられる。

(2) 管理体制

基本的な考え方を踏まえて考えられる通常時の管理方法、管理体制、連絡体制は、次のとおりである。

①管理方法

通常時の管理方法は、前述のとおり日常管理と巡回管理を組み合わせた無人管理を基本とする。

②管理体制

土地改良区の人員は、土地改良施設の規模や重要性を考慮して配置する必要がある。また、土地改良区が直接行うと考えられる日常管理は、同様の作業を行っている農業集落排水施設の日常管理と同じく1日1人が1時間程度の労務で対応できるので、土地改良区の人員配置に大きく影響しないと考えられる。これらのことから、土地改良区の人員は、島尻地区に近く、作物や面積も似ている沖縄本島南部地区と同様とする。

よって、本地区では、再生水製造プラント・揚水機場等の管理に3名、総務・営農係1名、事務局長1名とする5名の人員配置を計画する。

③連絡体制

再生水製造プラントの維持管理は、土地改良区と管理者が連携して行う。そのために必要な連絡体制をFig.40に示す。

c 塩分上昇時等の管理

(1) 基本的な考え方

塩分上昇時等の再生水製造プラントの管理は、再生水製造プラントに問題が生じ水質が悪化する場合と、下水管の破損事故で那覇浄化センターの下水処理水の塩化物イオン濃度等が上昇する場合とが考えられ、各々について、管理方法、管理体制及び連絡体制を考えておく必要がある。

(2) 塩分上昇時等の管理体制

基本的な考え方を踏まえて考えられる塩分上昇時等の管理方法、管理体制、連絡体制は、次のとおりである。

(i) 管理方法

- ①再生水製造プラントに問題が生じ水質が悪化する場合は、農業関係機関の連携で対応できるので、以下の点を農家、農業改良普及センター、農研センター等に連絡する。

- (イ) 水質悪化の程度
- (ロ) 栽培上の留意点
- (ハ) 復旧の予定

- ②下水管の破損事故で那覇浄化センターの下水処理水の塩化物イオン濃度が上昇する場合は、多度津町のような下水道関係機関との連携も必要であり、以下の対応を行う。

- (イ) 下水関係機関に、自動的に取水ゲートが閉じたことと、上昇した再生水の塩化物イオン濃度を連絡し、調査を行い復旧時期を連絡するよう要請する。
- (ロ) 農家及び農業関係機関に、上昇した再生水の塩化物イオン濃度を連絡するとともに、作物の耐塩性、栽培上の留意点、除塩対策等を連絡する。
- (ハ) 下水関係機関から復旧の予定が連絡されれば、その旨農家及び農業関係機関に報告する。

(ii) 管理体制

塩分上昇時等の管理の主な内容が連絡調整であり、通常時の管理体制で対応する。

(iii) 連絡体制

再生水製造プラントに問題が生じ水質が悪化した場合と、下水管の破損事故で那覇浄化センターの下水処理水の塩分が上昇した場合の連絡体制は、それぞれFig.41、Fig.42のとおりである。

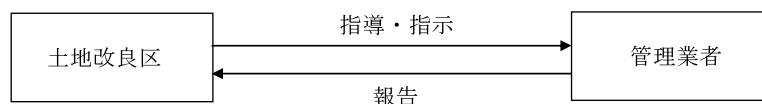


Fig.40 維持管理における通常時の連絡体制
Communication route for usual operation and maintenance

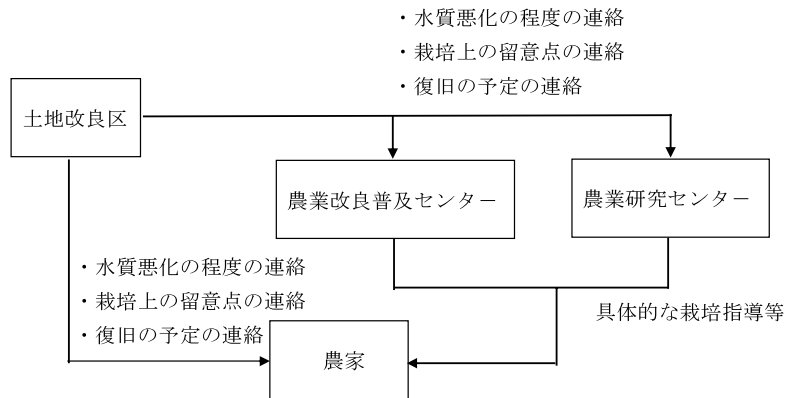


Fig.41 再生水製造プラントに問題が生じ水質が悪化した場合の連絡体制
Communication route in case of water quality deterioration
caused by the failure of wastewater reclamation plant

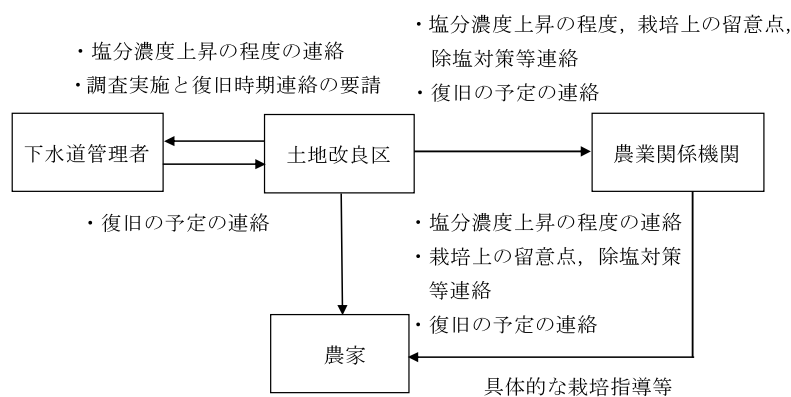


Fig.42 事故等で那覇浄化センターの下水処理水の塩化物イオン濃度が上昇した場合の連絡体制
Communication route in case of high chloride ion concentration in discharge
from Naha Sewage Treatment Centre caused by some accidents

Ⅶ 結 言

下水処理水を再生水として利用することの意義としては、①安定的な水利用への貢献、②公共用水域の水質改善等への寄与、等が挙げられる。

海外で下水処理水の再利用率が高いのは、一般的に降水量の少ない地域であり、再生水の多くは農業用水として利用されている。

他方、我が国の下水処理水の再利用率は低く、再生水の多くは環境用水として利用されており、農業用水としての利用は僅かである。また、農業用水は、再生水が直接人の口に入らない水稲中心に利用されている。

沖縄本島南部に位置する島尻地区では、利用できる河川や地下ダム適地が無いいため、下水処理水が再生され農業用水として生食用野菜等に利用されようとしている。なお、生食用野菜等への利用を主目的とする地区としては我が国最初である。これまでに、米国カリフォルニア州の基準の適用が検討され、再生水の人への安全性に問題が無いことが確認され、再生水製造プラントの処理工程が概定されている。

しかしながら、利用されようとしている那覇処理区の下水処理水は、塩化物イオン濃度が高く、現状のままでは農業用水として使うことができない。農業用水として使うためには、塩化物イオン濃度を下げる必要があるが、海外にもそのための基準や適当な事例は見当たらない。これらのことが事業計画案の作成上解決すべき大きな課題となっていた。

そのため、新たに下水管への塩水地下水浸入対策を、技術的、制度的に検討した。

以下、各章における成果を要約し、本研究の結論とする。

I章では、本研究の背景と目的についてまとめた。

我が国では沖縄本島南部の島尻地区が下水処理水を生食用野菜等に利用することを主目的とする最初の事例であり、これまでに再生水の安全性は確認されている。しかしながら、下水処理水の塩化物イオン濃度が高く、現状のままでは農業用水として使うことができない。農業用水として使うためには、作付けする作物の生育に支障の無い200mg/L以下に塩化物イオン濃度を下げる必要があるが、海外にも塩化物イオン濃度を下げるための基準や適当な事例は見当たらない。これらのことが大きな

課題となっていた。そのため、下水処理水の塩化物イオン濃度を下げ農業用水として利用することを目的として、新たに塩水地下水浸入対策を技術的、制度的に検討することとした。

Ⅱ章では、再生水を利用することの意義と、海外及び我が国の利用の状況についてまとめた。

再生水を利用することの意義としては、①安定的な水利用への貢献、②公共用水域の水質改善等への寄与、③地球温暖化による気候変動への緩和策としての効果、④うるおいのあるまちづくりへの貢献、等が挙げられる。また、海外での利用の多くは農業用水であるが、我が国の農業用水としての利用は僅かであり、下水処理水の再利用水質基準等マニュアルに農業用水が用途として含まれていない。また、生食用野菜等に利用することを主目的とする事例も見当たらない。

Ⅲ章では、島尻地区下水処理水利用計画について、島尻地区の概要、再生水利用の可能性と再生水の水質管理指標の検討状況、島尻地区基本構想を示すとともに、新たに下水管への塩水地下水浸入対策の研究を行う趣旨を明らかにした。

島尻地区は、沖縄本島南部に位置する約1,550haの畑作地帯であり、近年施設野菜や施設果樹が増加している。再生水利用については、再生水実証プラントが設置され試験が行われた結果、世界で最も厳しい米国カリフォルニア州の基準を適用できるので安全性に問題が無いとされている。再生水の水質管理指標は、大腸菌群数、濁度、水素イオン濃度、塩化物イオン濃度とされている。島尻地区基本構想は、那覇処理区の下水処理水を再生し、用水路等で畑作地帯に供給するものである。下水管への塩水地下水浸入対策については、下水の塩分低下対策と高塩分時に対応する営農方法を検討することとした。

Ⅳ章では、下水の塩分低下対策について、塩化物イオン濃度等の測定を行い、管更生案とバイパス案を比較検討するとともに、塩分低下対策の指針と塩水地下水浸入区間長の推定手法をまとめた。

塩化物イオン濃度等の測定では、潮位と幹線下水管の塩化物イオン濃度に関連性があること、小禄幹線の塩化物イオン濃度は低い鏡原マンホールで顕著に高いこと、南風原幹線は全般的に低いことが分かった。また、安射幹線と那覇幹線が高いこと等が分かった。これらの測定結果を踏まえ、下水管の更生を行い塩水地下水の浸入を防ぐ管更生案と、排水経路の変更を行い塩化物イオン濃度の低い下水のみを集めて処理するバイパス案を比較検討した。その結果、バイパス案は将来塩化物イオン濃度が上昇する可能性が管更生案よりも低いこと等から、バイパス案が適当とした。以上を踏まえ、一般的に利用できる塩分低下対策の指針や簡易な塩水地下水浸入区間長の推定手法をまとめた。

Ⅴ章では、農業外の管理施設の形状を農業側が変更するための制度について、河川管理施設の形状を変更した

類似の事例を分析し、バイパス案の工事のための制度の検討を行うとともに、農業外の管理施設の形状を農業側が変更するための制度の検討手順をまとめた。

河川管理施設の形状を変更した類似の事例として農業側の排水事業で行った河川拡幅について分析したところ、河川側に速やかに拡幅を行う必要性は無く、農業側が、河川法第20条(管理者以外の者の施工する工事を規定)に基づき、農業上の目的を持って河川管理施設の形状を変更していることが分かった。河川拡幅の事例は、バイパス案と工事の内容は異なるものの、法解釈の観点からは、農業上の目的を持って農業外の管理施設の形状を農業側が変更する点で同様であり、バイパス案は、河川法第20条と類似の下水道法第16条に基づき実施すべきとした。これらを踏まえ、通達等に記述のない農業外の管理施設の形状を農業側が変更するための一般的に利用できる制度の検討手順をまとめた。

Ⅵ章では、高塩分時に対応する営農方法について、塩水生育試験を行い、塩化物イオン濃度の低下目標を確認するとともに、栽培上の留意点、除塩対策及び下水処理水の取水方法を検討した。また、高塩分時に対応する営農方法の指針をまとめた。さらに、再生水製造プラントの管理について、通常時と塩分上昇時等の検討を行なった。

塩水生育試験では、ゴーヤー、サヤインゲン、マンゴー等に塩化物イオン濃度が高くなると影響が出ることが分かった。これらの結果を踏まえ、塩化物イオン濃度の低下目標を200mg/L以下とすることを確認した。また、栽培上の留意点は、作物の耐塩性を考慮し作付け作物の制限等を行うこととした。さらに、除塩対策は、ハウスのビニールの除去等を行うこととした。下水処理水の取水方法は、再生水の電気伝導度を計測し、塩化物イオン濃度が200mg/Lに相当する電気伝導度を超えた場合に自動的に取水バルブを閉じることとした。これらを踏まえ、高塩分時に対応する営農方法の指針をまとめた。

再生水製造プラントの管理は、通常時は、遠方監視を行いながら、毎日施設の状況を目視するとともに大腸菌群の検査等を行う日常管理と、保守点検を行う巡回管理を組み合わせた無人管理が適当とした。事故で下水処理水の塩化物イオン濃度が上昇する場合は、下水道関係機関と農業関係機関が連絡調整を行いながら農家への栽培指導等を行うこととした。

これらの結論を総括し、まとめると以下のとおりである。

- ① 沖縄本島南部に位置する島尻地区は、サトウキビや生食野菜等の栽培のために農業用水が必要であるが、利用できる河川や地下ダム適地が無いとため、下水処理水を再生し農業用水として利用することが検討されている。これまでに、米国カリフォルニア州の基準の適用が検討され、再生水の安全性に問題が無いことが確認されている。

- ② しかしながら、利用しようとしている那覇処理区の下水処理水は、海面下に敷設された下水管の破損部分からの塩水地下水浸入により塩化物イオン濃度が高く、現状では農業用水として使うことができない。作物の生育に支障の無い程度に下水処理水の濃度を下げる必要があるが、そのための基準や適当な事例は海外にも見当たらない。
- ③ 本研究では、下水処理水の塩化物イオン濃度を下げて農業用水として利用するために、新たに下水管への塩水地下水浸入対策を検討した。即ち栽培にできるだけ支障の無い程度に下水処理水の塩化物イオン濃度を下げる下水の塩分低下対策を技術的、制度的に検討した。また、一度低下した塩化物イオン濃度が下水管の破損事故で再び上昇する場合に必要な高塩分時に対応する営農方法や再生水製造プラントの管理について検討した。さらに、これらの結果を踏まえ、今後再生水を農業利用する場合に一般的に利用できる指針や手法等をまとめた。
- ④ 下水の塩分低下対策については、塩化物イオン濃度等の測定結果を踏まえ、下水管の更生を行い塩水地下水の浸入を防ぐ管更生案と、排水経路の変更を行い塩化物イオン濃度の低い下水のみを集めて処理するバイパス案を比較検討した結果、バイパス案が適当とした。また、塩分低下対策の指針と塩水地下水浸入区間長の推定手法をまとめた。
- ⑤ バイパス案については、法解釈の観点からは河川拡幅の事例と同様であり、河川法第20条と類似の下水道法第16条に基づき工事を実施すべきとした。また、農業外の管理施設の形状を農業側が変更するための制度の検討手順をまとめた。
- ⑥ 高塩分時に対応する営農方法については、塩水生育試験の結果等を踏まえ、塩化物イオン濃度の低下目標を200mg/L以下とすることを確認した。また、栽培上の留意点として作物の耐塩性を考慮して作付け作物の制限等を行うこととした。また、除塩対策としてハウスのビニールの除去等を行うこととした。また、下水処理水の取水方法として塩化物イオン濃度が200mg/Lを超えた場合に自動的に取水バルブを閉じることとした。さらに、高塩分時に対応する営農方法の指針をまとめた。
- ⑦ 再生水製造プラントの管理については、遠方監視を行いながら、通常時は日常管理と巡回管理を組み合わせた無人管理を行うのが適当とした。また、下水管の破損事故で下水処理水の塩化物イオン濃度が上昇する場合は、下水道関係機関と農業関係機関が連絡を行いながら栽培指導等を行うこととした。

参考文献

- 1) 浅野 孝・丹保憲仁・五十嵐敏文・渡辺義公(1999)：水環境の工学と再利用，北海道大学図書刊行会，169
- 2) 浅野 孝・山縣弘樹・名波義昭・浜口達男・安田成夫・吉谷純一(2008)：カレント・トピックスー海外の水管理政策動向ー(第7回)，河川 748, 70-76
- 3) Asano, T., F. Burton, H. Leverenz, R. Tsuchihashi and G.Tchobanoglous (2007): Water reuse: Issues, technologies, and applications. Mc-Graw Hill, New York.
- 4) California Department of Water Resources (2004): Water Facts No.23-Water Recycling, <http://www.owue.water.ca.gov/recycle/docs/WaterFact23.pdf>.
- 5) California Water Resources Control Board (2002): Municipal wastewater recycling survey, <http://www.waterboards.ca.gov/recycling/munirec.html>
- 6) Dawn Taffler, Dawn Lesley, and Alan Zelenka (2008): "Hidden Potential Recycled water and the water-energy-nexus", *Water Environment & Technology*, **20**(11), 34-41, 2008. 11
- 7) 下水処理水の再利用のあり方を考える懇談会(2008)：下水処理水の再利用のあり方を考える懇談会中間とりまとめ，5-7
- 8) 下水処理水の再利用のあり方を考える懇談会(2009)：新たな社会的意義を踏まえた再生水利用の促進に向けて，下水処理水の再利用のあり方を考える懇談会報告書，3-11
- 9) 鋼鉄幸博・荒川浩成(2007)：再生水の畑地かんがい利用に関する研究，第15回北海道大学衛生工学シンポジウム論文集，北海道大学衛生工学会，79-82
- 10) 石崎将浩(2003)：呉市の不明水対策－「海水浸入対策」と「溢水対策」－，月刊下水道，26(7)，32-34
- 11) 環境省地球温暖化影響・適応研究委員会(2008)：気候変動への賢い適応，地球温暖化影響・適応研究委員会報告書 第3章 水環境・水資源分野，28
- 12) 川島秀樹・浅野 孝(2009)：米国カリフォルニア州における農業用水を巡る現状と将来計画，農業農村工学会誌，77(9)，723-728
- 13) 南山瑞彦(2008)：わが国の下水処理水再利用の現状と再利用水質基準等マニュアル，水環境学会誌，31(3)，120-124
- 14) 内閣府沖縄総合事務局(2007)：沖縄南部圏域における下水処理水の有効利用基本調査報告書，75
- 15) 仲間雄一・加藤浩一・藤田智康・荒川浩成(2005)：再生水を利用したかんがい計画について－国営土地改良事業地区調査「島尻地区」の概要－，第86回農業土木学会九州支部講演要旨，36-39
- 16) 仲村 元・鋼鉄幸博・荒川浩成(2009)：日本初，再生水利用による大規模かんがい計画について－国営土地改良事業地区調査「島尻地区」の概要－，水と土，第156号，74-82
- 17) 中里良一・仲村 元・鋼鉄幸博(2008)：日本初，再生水利用大規模かんがいプロジェクトの推進方策等について－もったいない水のリサイクルプロジェクト－，平成20年度農業農村工学会大会講演要旨，136-137
- 18) 野中資博・石井将幸・石黒 覚・前田弘司(2002)：農業用管路施設の改修工法，農業土木学会誌，70(12)，1103-1107

- 19) 農林水産省構造改善局(1997): 土地改良事業計画設計基準計画「農業用水(畑)」基準書 技術書, 63
- 20) 沖縄県下水道管理事務所水質管理課(2006): 小禄幹線の海水浸入調査報告書, 1-9
- 21) 沖縄総合事務局土地改良総合事務所(2008): 国営土地改良事業地区調査「島尻地区」の概要－再生水を利用したかんがい計画－, パンフレット, 12-17
- 22) 大西 修(2006): 神戸市の不明水対策, 第43回下水道研究発表会講演集, 659-661
- 23) 社団法人日本下水道協会(1982): 下水道管路施設における浸入水防止対策指針, 14-19
- 24) Sheikh, B. (2005): Monterey County water recycling projects: A case study in irrigation water supply for food crop irrigation, Water reuse for irrigation: agriculture, landscapes, and turf grass, 374-379, CRC Press.
- 25) 重松賢行・W.K.C.N. Dayanthi・山下尚之・田中宏明・対馬孝治・天野邦彦・山下 正(2006): 下水再生水の灌漑利用における窒素動態把握に向けた安定同位体比の測定, 環境工学研究論文集, 43, 509-516
- 26) T. Shigematu, W.K.C.N. Dayanthi, N. Yamashita, H. Tanaka, T. Yamashita (2007): The First Introduction of Reclaimed Wastewater to Dry-farming Field in Okinawa Island, Japan, A lecture outline of 6th IWA Conference on Wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability(WRRS 2007)-9-12 October 2007, Belgium, 1-8
- 27) 自然科学研究機構国立天文台(2009): 理科年表, 945
- 28) 田中宏明・浅野 孝(2006): 農業灌漑への下水処理水再利用－沖縄でのわが国初の本格的な計画－, 下水汚泥資源利用協議会誌, 29(114), 6-13
- 29) 田中宏明(2008): 気候変動に備える新たな水資源, 水環境学会誌, 31(3), 119
- 30) 田中宏明(2009): 21世紀都市代謝系としての下水道への期待, 新都市, 63(9), 16-23
- 31) 田坂悦朗(2007): 下水処理水を再利用した農業用水の確保, 農業農村工学会誌, 75(6), 510-511
- 32) 友正達美・山下 正(2009): 高・低温障害対策のための高機能型水管理支援システムの活用と改良の要望, 平成21年度農業農村工学会大会講演要旨, 442
- 33) 友正達美・山下 正(2009): 亘理・山元地区における高機能型水管理支援システムについて, JACEM, 49, 22-25
- 34) 友正達美・山下 正(2009): 水稻の高温障害対策における用水管理の課題と対応の方向, 農村工学研究所技報, 第209号, 131-137
- 35) 友正達美・山下 正(2010): 水田農業の営農変化に伴う用水需要変化に関する一考察, 農村工学研究所技報, 第210号, 111-119
- 36) 山縣弘樹(2008): 米国カリフォルニアにおける下水処理水再利用, 水環境学会誌, 31(3), 140-143
- 37) 山下 正(2001): 維持管理支援情報システムの構築, 集落排水, 66, 50-59
- 38) 山下 正(2002): 第18回海外農業集落排水事業視察について, 集落排水, 67, 59-65
- 39) 山下 正(2002): 欧州5カ国の「水環境管理と資源循環」について, 月刊浄化槽, 310, 45-48
- 40) 山下 正(2002): 浄化槽維持管理の適正化・効率化に向けた取り組み～維持管理支援情報システムの構築について, 月刊浄化槽, 314, 45-47
- 41) 山下 正(2003): 農業集落排水施設における維持管理支援情報システムの構築, 農業土木学会誌, 71(6), 507-510
- 42) 山下 正(2007): 沖縄の土地改良の将来, 沖縄農業土木事業協会設立30周年記念誌, 24-25
- 43) 山下 正・山口信司・石原正一(2007): 下水処理水の農業利用における塩分対策の研究, 第58回農業農村工学会関東支部大会講演要旨, 115-120
- 44) 山下 正・友正達美・山口信司(2008): 下水処理水の農業利用における下水道財産の形状を農業側が変更するための制度の研究, 平成20年度農業農村工学会大会講演要旨, 138-139
- 45) 山下 正・友正達美(2008): データ表現方法の統一等による水管理システムのネットワーク化, 平成20年度農業農村工学会大会講演要旨, 24-25
- 46) 山下 正・山口信司・石原正一(2008): 下水処理水の農業利用のための塩分対策, 農業農村工学会誌, 76(11), 989-994
- 47) 山下 正・友正達美(2009): 亘理・山元地区の高・低温障害対策としての用水管理における普及側と用水供給側の連携の意義, 平成21年度農業農村工学会大会講演要旨, 440
- 48) 山下 正・塩沢 昌(2009): 下水処理水の農業利用のための下水管への塩水地下水浸入区間長の推定, 農業農村工学会論文集, 263, 577-583
- 49) 山下 正・友正達美・山口信司(2010): 下水処理水の農業利用において下水道財産の形状変更を農業側が行うための制度, 農業農村工学会誌, 78(3), 229-233
- 50) 財団法人下水道新技術推進機構(2005): 管きょ更生工法の品質管理技術資料, 3